

Biblioteca  
de Geología



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología

T-17

Geología y Yacimientos Minerales de la Sierra La Campanería  
Municipio de Bacanora, Sonora Central

C. EXACTAS  
1157 5

# TESIS

Que para obtener el Título de

## GEÓLOGO

Presentan

**Elizabeth Araux Sánchez**

y

**Ricardo Vega Granillo**



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

Hermosillo, Sonora

Junio de 1985

**Biblioteca Depto.  
de Geología**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



Departamento de Geología

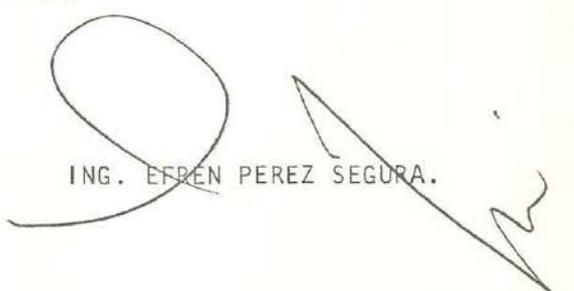
Biblioteca Depto.  
de Geología

TEMA: "GEOLOGIA Y YACIMIENTOS MINERALES DE LA SIERRA LA CAMPANERIA, MPIO.  
DE BACANORA, SONORA CENTRAL."

NOMBRE DE LOS SUSIDENTANTES : ELIZABETH ARAUX SANCHEZ.

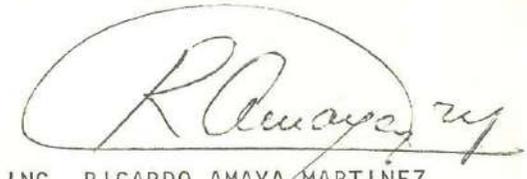
RICARDO VEGA GRANILLO.

EL QUE SUSCRIBE CERTIFICA QUE HA REVISADO ESTA TESIS Y QUE LA ENCUENTRA  
EN FORMA Y CONTENIDO, ADECUADA COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA OBTENER EL TI-  
TULO DE GEOLOGO EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA.



ING. EFRAIN PEREZ SEGURA.

EL QUE SUSCRIBE CERTIFICA QUE HA REVISADO ESTA TESIS Y QUE LA ENCUENTRA  
EN FORMA Y CONTENIDO, ADECUADA COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA OBTENER EL TI-  
TULO DE GEOLOGO EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA.

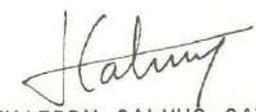


ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ

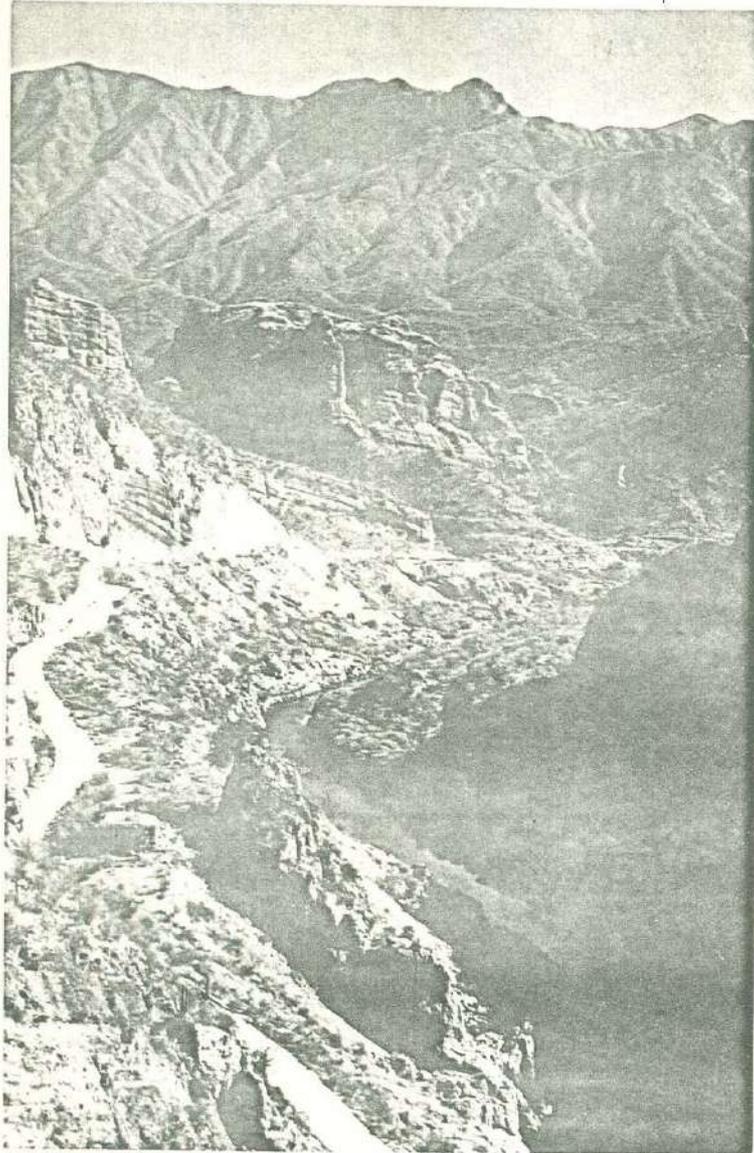
EL QUE SUSCRIBE CERTIFICA QUE HA REVISADO ESTA TESIS Y QUE LA ENCUENTRA  
EN FORMA Y CONTENIDO, ADECUADA COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA OBTENER EL TI-  
TULO DE GEOLOGO EN LA UNIVERSIDAD DE SONORA.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

Biblioteca Depto.  
de Geología


DR. THIERRY CALMUS CATRIN



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

"La naturaleza presenta enigmas que el ser humano a intentado descifrar a lo largo de los siglos, en el transcurso de su evolución. De cualquier forma, la naturaleza -que sigue sus principios- prodiga espacio y belleza que es lo primero a comprender".

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Geólogo Didier Richard por los conocimientos compartidos a través de la elaboración de este trabajo, pero sobretodo, reconocemos su alma inquieta donde siempre existe el espacio para la amistad.

A Efrén Pérez Segura, Coordinador del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, nuestro reconocimiento por su fé y su impulso constante a las generaciones que se van abriendo camino dentro de la Geología. En particular por su dirección y consejo en el transcurso y revisión del presente estudio.

Asímismo, al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, por el apoyo material en la elaboración del mismo.

Nuestra gratitud al Dr. Ariel Echávarri Pérez, Director de la Dirección de Minas, Geología y Energéticos del Gobierno del Estado de Sonora, por su contribución en la realización de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el estímulo a los programas y proyectos de investigación.

Al Dr. Olivier Monod por sus consejos que ampliaron la visión geológica del área.

Al Dr. Luigi Radelli por las valiosas observaciones emitidas durante el desarrollo del trabajo.

Gracias también, al Sr. Edgardo Villalobos dueño de la Mina La Norteña, por las facilidades prestadas para el estudio de la misma.

A todas aquellas personas que nos acompañaron en nuestras visitas al campo, compartiendo todo lo que ello implica.

A las familias y rancheros de esta porción de Sonora, por su ayuda y afecto. En ellos encontramos valores que nos mueven hacia la fé del ser humano. No podemos dejar de mencionar a Don Ricardo Biebrich, Rafael Gámez, Jorge Martínez y esposa, Don Candelario y a la familia del rancho Cariaga.

A nuestros padres

que son la fuerza inagotable que aporta amor, comprensión, consejos, sustento  
....tantas cosas, para construir la base de nuestras vidas, sobre la cual va-  
mos erigiendo lo que somos y cuya firmeza guía nuestros pasos.

A nuestros hermanos

presencia continua del cariño, comunión de las luchas y desvelos.

A nuestros amigos

poseedores de la nobleza y el entusiasmo. Compañeros en el placer de compar-  
tir y de crecer, fuente a cuyas aguas convergemos.

# INDICE

## I.- RESUMEN

## II.- GENERALIDADES

- 1) Localización y Vías de Acceso.
- 2) Clima y Vegetación.
- 3) Geomorfología y Fisiografía.
- 4) Orografía e Hidrografía.
- 5) Objetivos de la Investigación.
- 6) Métodos de Trabajo.
- 7) Trabajos Previos.

## III.- MARCO GEOLOGICO - HISTORICO REGIONAL DE LA SIERRA LA CAMPANERIA

- 1) Contexto Petrológico.
- 2) Contexto Tectónico.

## IV.- GEOLOGIA DE LA SIERRA LA CAMPANERIA.

### 1) Rocas Sedimentarias.

#### a) Formación Las Tierras.

Ocurrencia

Litología, espesores y relaciones estratigráficas.

Petrografía y Petrogénesis.

Fósiles, Edad y Correlación.

#### b) Formación Chubisco.

Ocurrencia.

Litología, espesores y relaciones estratigráficas.

Petrografía y Petrogénesis.

Fósiles, Edad y Correlación.

#### b.1) Miembro Toneles

Ocurrencia.

Litología, espesores y relaciones estratigráficas.

Petrografía y Petrogénesis.

Fósiles, Edad y Correlación.

#### c) Formación El Venado.

Ocurrencia.

Litología, espesores y relaciones estratigráficas.

Petrografía y Petrogénesis.

Fósiles, Edad y Correlación.

- d) Formación Mina México.  
Ocurrencia.  
Litología, Espesores y Relaciones Estratigráficas  
Fósiles, Edad y Correlación .
- e) Unidad Sedimentaria Silíceo del Cerro Peyote.
- 2) Rocas Igneas y Metamórficas.
  - a) Rocas Plutónicas.
    - a.1) Rocas Graníticas.
    - a.2) Aplitas, Pegmatitas y Vetas de Cuarzo..
    - a.3) Rocas Intermedias a Básicas.
    - a.4) Conclusión de las Rocas Igneas.
  - b) Esquistos.
  - c) Rocas Volcánicas.
    - c.1) Vulcanismo Intermedio Cretácico.
    - c.2) Diques Andesíticos y Lamprofídicos.
    - c.3) Vulcanismo Intermedio Terciario.
    - c.4) Vulcanismo Acido y Deposición Molásica.
- 3) Geología Estructural.
  - a) Pliegues.
  - b) Fallas Inversas.
  - c) Diaclasas.
  - d) Esquistosidad.
  - e) Fallas Normales.

#### 4) Geología Histórica.

### V.- YACIMIENTOS MINERALES.

- 1) Introducción.
- 2) El Tungsteno en Sonora.
- 3) Tipos de Yacimientos de Tungsteno en Sonora.
  - a) Skarns.
  - b) Pegmatitas.
  - c) Yacimientos Filonianos.
  - d) Depósitos de Placer.
- 4) Yacimientos Minerales de la Sierra La Campanería.
  - a) Mina La Norteña.  
Localización y Vías de Acceso.  
Historia.  
Geología del Yacimiento.  
Morfología y Estructuras.

Descripción de los Tajos.  
Mineralización y Fracturas.  
Petrografía.  
Petrogénesis.  
Importancia Económica del Depósito.  
Conclusiones.

- b) Área del Semigraben del Río Yaqui.
  - b.1) Introducción.
  - b.2) Geología.
  - b.3) Mina Perú y Mina Esperanza.
  - b.4) Mina Los Nachos de San Pedro.
  - b.5) Mina de Molibdeno.
  - b.6) Conclusiones.
- c) Mina Patricia.
- d) Mina San Esteban.

VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

VII.- BIBLIOGRAFIA.

VIII.- APENDICES.

- 1) Clasificaciones.
  - a) Clasificación de las Rocas Sedimentarias.
  - b) Clasificación de las Rocas Metamórficas.
  - c) Clasificación de las Rocas Igneas.
- 2) La importancia del Tungsteno.
  - a) Generalidades.
    - Propiedades y Usos.
    - Distribución en la Corteza Terrestre.
    - Mineralizaciones.
  - b) Clasificación de los Yacimientos de Tungsteno.
    - Clasificación de Bürnol.
  - c) Repartición en el Mundo y Producción.
    - Distribución.
    - Producción Mundial.
    - Producción Mexicana.
    - Reservas.
  - d) Leyes de Explotación y Métodos de Concentración.
  - e) Precio y Concentrados.
  - f) Historia.

## LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1.- Plano de localización y contexto geológico de la Sierra La Campanería Mpio. de Bacanora, Son.
- Fig. 2.- Provincias fisiográficas y principales rasgos hidrográficos del Estado de Sonora.
- Fig. 3.- Principales rasgos geomorfológicos, orográficos e hidrográficos de la Sierra La Campanería, Sonora Central.
- Fig. 4.- Columnas estratigráficas definidas en Sonora Central.
- Fig. 5.- Sección A-A' y Sección B-B'
- Fig. 6.- Sección C-C' y Sección D-D'
- Fig. 7.- Relaciones entre las rocas plutónicas básicas-ácidas-metasedimentarias.
- Fig. 8.- Petrografía de rocas máficas.
- Fig. 9.- Sección F-F' y Sección G-G'
- Fig. 10.- Sistema de bloques producto de la tectónica distensiva de Sierras y -- Valles Paralelos.
- Fig. 11.- Distribución de los conjuntos de rocas en el sector estudiado.
- Fig. 12.- Plano de la mina La Norteña.
- Fig. 13.- Sección esquemática compuesta A-A' y Sección B-B'.
- Fig. 14.- Vista general al NW del tajo La Grande y vista al N del Tajo La Grande.
- Fig. 15.- A) Zona de transición entre una pegmatita y un skarn.  
B) Distribución mineralógica dentro de un skarnoide.  
C) Relación entre diques básicos, cuarzofeldespáticos y diaclasas.
- Fig. 16.- A) Tajo El Puerto.  
B) Tajo No. 1.  
C) Tajo No. 2.
- Fig. 17.- A) Petrografía de la lámina No. 24 MNR  
B) Petrografía de la lámina No. MNo 14 ZA  
C) Petrografía de la lámina No. MNo 3
- Fig. 18.- Sección esquemática de la mina El Perú.
- Fig. 19.- Sección esquemática de la mina Los Nachos de San Pedro.
- Fig. 20.- Petrografía de las láminas de las minas Perú y Los Nachos.
- Fig. 21.- Relaciones mineralógicas del Skarn de la mina Patricia.

## APENDICE B

- Fig. 22.- Cristal de Wolframita.
- Fig. 23.- Cristal de Scheelita.
- Fig. 24.- Distribución mundial de los principales yacimientos o distritos productores de tungsteno en 1977.
- Fig. 25.- Localización de algunos tipos de skarn.
- Fig. 26.- Situación de yacimientos de tungsteno en Europa con las cadenas principales.

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.- Fm. Las Tierras.
- Tabla 2.- Fm. Chubisco.
- Tabla 3.- Mm. Toneles.
- Tabla 4.- Granitos.
- Tabla 5.- Granodioritas y tonalitas.
- Tabla 6.- Rocas plutónicas intermedias a básicas.
- Tabla 7.- Esquistos.
- Tabla 8.- Vulcanismo intermedio.
- Tabla 9.- Vulcanismo ácido.

## APENDICE B

- Tabla 10.- Procesos de producción de tungsteno y aplicaciones.
- Tabla 11.- Producción mundial de tungsteno (W).
- Tabla 12.- Producción de tungsteno en México y de Sonora de 1933 hasta 1983.
- Tabla 13.- Producción de tungsteno en los principales Estados productores de - 1969 a 1975.
- Tabla 14.- Reservas mundiales de tungsteno 1981.

## LISTA DE DIAGRAMAS

- Diagrama 1.- Clasificación de las rocas plutónicas.
- Diagrama 2.- Rumbo y echado de la esquistosidad.
- Diagrama 3.- Clasificación de las rocas volcánicas.
- Diagrama 4.- Fallamiento inverso.
- Diagrama 5.- Fallamiento normal.
- Diagrama 6.- Fracturación en la Mina "La Norteña".
- Diagrama 7.- Fallas en la Mina "La Norteña".

## RESUMEN

En la Sierra La Campanería, Mpio. de Bacanora, Son. afloran gruesas secuencias metasedimentarias. La más antigua y potente, de composición eminentemente carbonatada denominada Fm. Las Tierras, es cubierta por una secuencia de trítica formada por areniscas, limolitas y lutitas silíceas de la Fm. Chubisco y el Miembro Toneles. Estas formaciones son sobreyacidas por una secuencia de trítica-carbonatada llamada Fm. El Venado, la cual fué datada del Pérmico inferior (Leonardiano) lo cual señala que la depositación detrítica en esta parte de Sonora, inicia anteriormente a dicha edad. Por último, una secuencia de argilitas con intercalaciones de areniscas agrupadas bajo el nombre de Fm. Mina México, sobreyacen en discordancia a la Fm. El Venado.

Estas rocas han sufrido deformaciones plásticas en sus partes incompetentes, debidas a esfuerzos compresivos que se atribuyen a por lo menos dos fases orogénicas, entre las cuales toma lugar un evento volcánico muy poco representado en el área.

Seguidamente a estos eventos, se lleva a cabo una intrusión granítica de escala batolítica, la cual está representada principalmente por granito, menos comúnmente granodiorita, tonalita y diorita. Estas últimas, aunque en proporción menor en relación al granito, se encuentran aflorando en amplias zonas.

A partir del emplazamiento de los granitos, se produce el metamorfismo general de contacto de la mayoría de las rocas preexistentes (incluso las volcánicas), además es acompañada de diques básicos, aplíticos y pegmatíticos, así como de fluidos metasomáticos e hidrotermales que dan origen a una serie de depósitos mineralizados.

La mayoría de los depósitos del área son del tipo skarn y solo una pequeña parte se considera como de origen hidrotermal. Algunos de los más importantes como la Mina La Norteña, Mina Perú, Mina Los Nachos, etc. son estudiados aquí con el fin de conocer sus características geológicas.

Los yacimientos difieren en general en sus características estructurales, morfológicas y mineralógicas, lo que parece influir en el tipo de mineralización de los cuales el más común e importante es la scheelita, uno de los minerales portadores de tungsteno (W).

Para concluir la fase Laramide, se producen dos eventos volcánicos separados por una secuencia volcanosedimentaria de transición. De estos eventos el primera es constituido por rocas andesíticas principalmente y el segundo --

por coladas riolíticas; ambos con fases explosivas y tobas asociadas. Estas rocas volcánicas se consideran de edad Oligoceno-Mioceno. Más o menos contemporáneo al volcanismo ácido, se produce la sedimentación de secuencias conglomeráticas con pasajes volcánicos y algunas tobas intercaladas, las cuales están agrupadas en la Fm. Baúcarit, cuyo origen está estrechamente ligado a la creación de cuencas y sierras ("horst y graben") producidos por la tectónica distensiva que inicia en el Terciario medio y que continúa aún después de la depositación de los conglomerados.

Este trabajo forma parte del Proyecto Metalogenia del Tungsteno en Sonora por lo que se anexan también : la descripción de los principales tipos de depósito de este mineral, ejemplificados por un yacimiento particular de Sonora.

En el apéndice B, elaborado en colaboración con el Ing. Geol. Didier Richard, se presenta un estudio detallado del tungsteno, donde se incluye sus propiedades y usos, distribución, minerales, clasificación, producción y reservas, métodos de concentración más utilizados, precios e historia.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

## 11.- GENERALIDADES

### 1) Localización y Vías de Acceso.

El área estudiada se encuentra en la porción Central - Este del Estado de Sonora dentro del Municipio de Bacanora. Está limitada por las coordenadas  $28^{\circ} 50'00''$  -  $28^{\circ} 59' 00''$  de latitud Norte y  $109^{\circ} 38' 20''$  -  $109^{\circ} 27' 30''$  de longitud Oeste.

Comprende una superficie de  $240 \text{ Km}^2$  aproximadamente.

La principal vía de acceso es la carretera Hermosillo-Sahuaripa, la cual se encuentra pavimentada hasta el poblado La Estrella situado a 151 Km al Este de la ciudad de Hermosillo. Esta carretera cruza el área de Este a Oeste por su parte Norte y de ella parten escasos caminos vecinales, de los cuales los más importantes, son los que comunican con el Rancho Las Trincheras, con la Mina La Norteña y el antiguo camino de Bacanora a Tónichi.

El tránsito por estos caminos, difíciles en circunstancias normales, se vé virtualmente interrumpido en épocas de lluvias.

Existe también una pequeña pista de aterrizaje situado a dos Km. al Noreste del poblado La Estrella.

### 2) Clima y Vegetación.

El clima en esta porción de Sonora puede subdividirse en dos tipos : uno que impera en las zonas elevadas de la sierra, es templado-subhúmedo y otro en las partes topográficamente bajas, que es semiseco-semicálido. En la cuenca del río Yaquí se encuentra un subtipo de clima seco, que varía de cálido a semicálido.

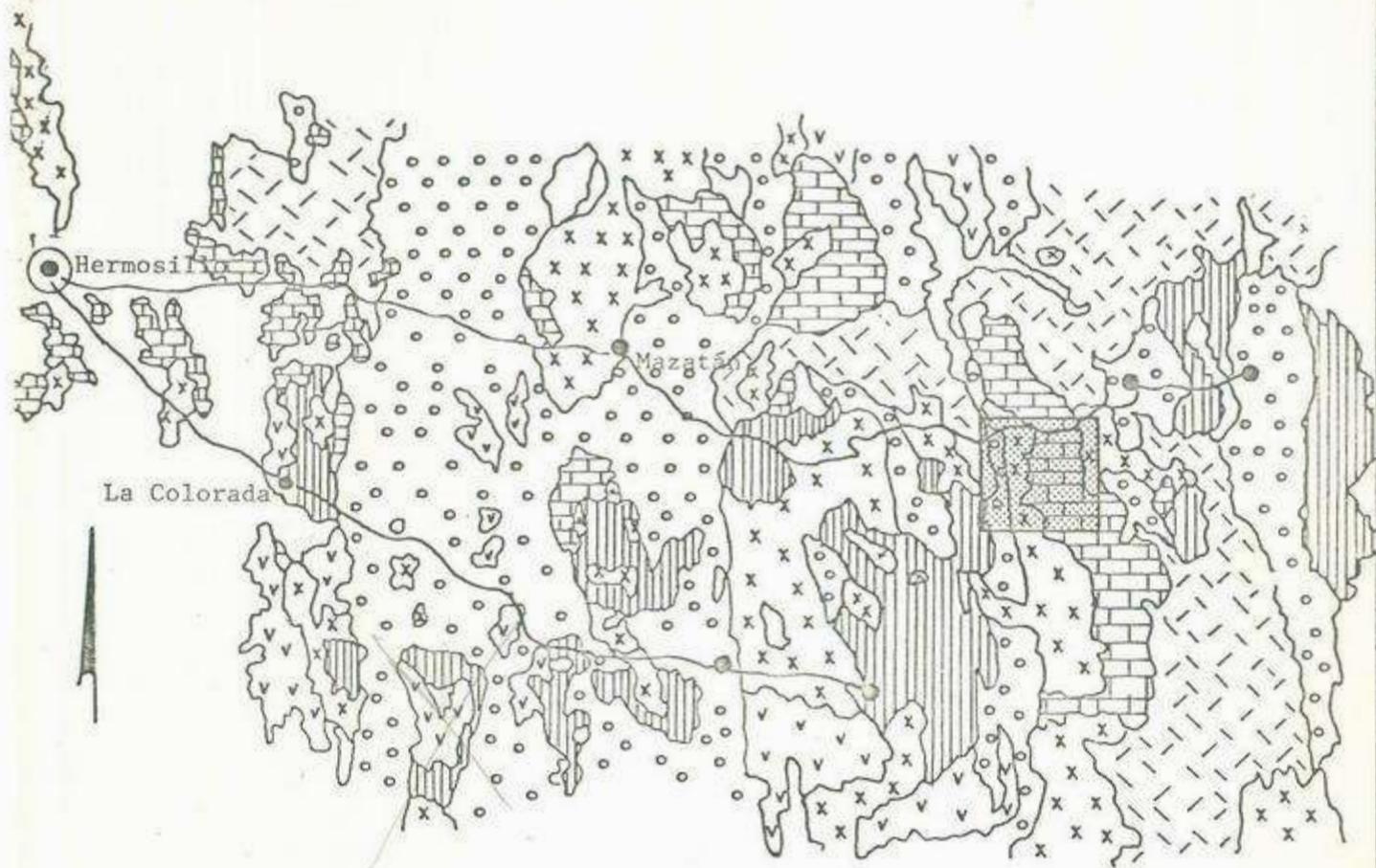
En toda esta región se presentan lluvias torrenciales en verano, en invierno en forma de "equipatas" con un porcentaje de precipitación mayor de 10.2 .

La precipitación total anual es de 600-700 mm. en las partes bajas.

Al igual que el clima la vegetación tiene una distribución diferencial, caracterizándose en las altas mesetas y laderas de la sierra por bosques de encinos del género *Quercus* (encino, roble) donde coexisten algunas plantas del tipo agave (maguey) y hierbas anuales.

En las zonas de altitud media la vegetación se torna muy densa y es constituida por árboles como Torotes (bursera), palo fierro (olneya); arbustos espinosos y matorrales como mezquite (prosopis) y cactáceas como sahuaros, nopales y biznagas.

En los valles la vegetación es predominantemente de cactáceas y algunos ma-



ESCALA  
0 10 50 km.

- |  |                               |  |                        |
|--|-------------------------------|--|------------------------|
|  | TERCIARIO VOLCANICO           |  | TERCIARIO SEDIMENTARIO |
|  | CRETACICO-TERCIARIO VOLCANICO |  | MESOZOICO              |
|  | CRETACICO-TERCIARIO PLUTONICO |  | PALEOZOICO             |
|  | SECTOR ESTUDIADO              |  |                        |



FIGURA 1

UNIVERSIDAD DE SONORA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PLANO DE LOCALIZACION Y CONTEXTO  
GEOLOGICO DE LA SIERRA LA CAMPANERIA,  
MPIO. DE BACANORA, SON.

Fuente: Carta Metalogenética de Sonora

TESIS PROFESIONAL:  
E.Araux R.Vega

torrales arbustivos ya mencionados.

La temperatura media anual está registrada por isotermas que se extienden paralelamente al río Yaqui en forma descendente de oeste a este, de 24° C a -- 16 °C , predominando las temperaturas más bajas en las partes altas de la sierra.

### 3) Geomorfología y Fisiografía.

En Sonora se han definido tres grandes provincias fisiográficas: 1) Provincia Costera o del Desierto de Sonora, también llamada Llanura Sonorense; 2) Provincia Costera del Pacífico o de Sinaloa y 3) Provincia de la Sierra Madre Occidental.

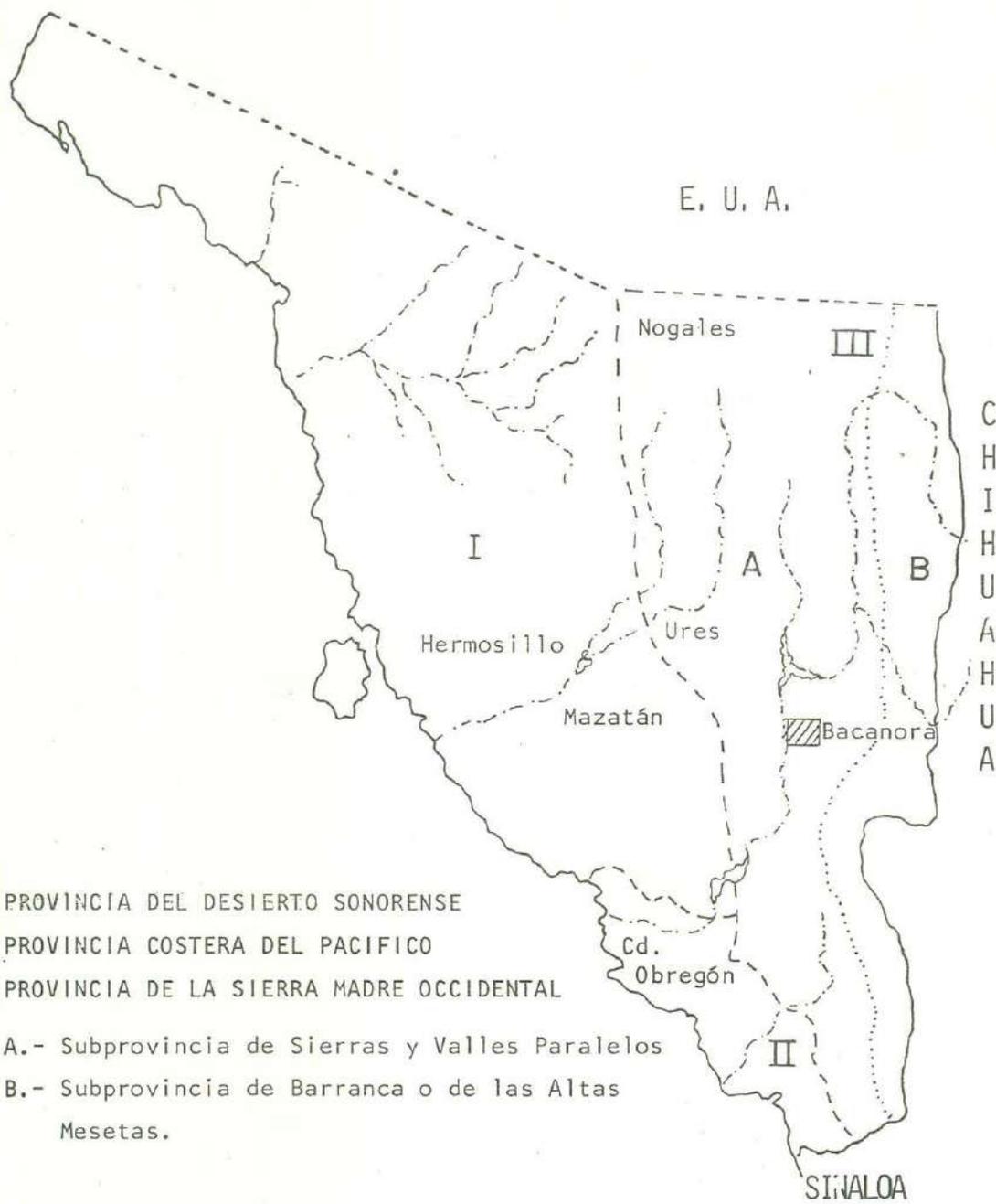
La Provincia de la Sierra Madre Occidental ha sido dividida en dos subprovincias: una oriental llamada subprovincia de Barrancas, piemontina y de las altas mesetas y otra occidental denominada subprovincia de Sierras y Valles paralelos (King, 1939; Raisz, 1959). La distribución de las Provincias y subprovincias se muestran en la figura 2.

El área se localiza en la parte oriental de la subprovincia de Sierras y Valles paralelos que colinda al este con la subprovincia de Barrancas o piemontina. Se caracteriza por abruptas sierras alargadas aproximadamente Norte-Sur con altitudes que sobrepasan los 1000 m., separadas por valles generalmente angostos.

Las estructuras geomorfológicas del área pertenecen a complejos montañosos donde han interactuado diversos procesos tectónicos, tanto de compresión como de distensión, reflejando así evidencias de plegamiento, fallamiento y actividad ígnea.

El relieve está regido principalmente por la tectónica distensiva que inició en el Mioceno, la cual ha formado grandes bloques limitados por fallas normales. El más notable lo constituye un "horst" que se encuentra basculado hacia el NE. El techo del mismo desciende del parteaguas hacia el E con una pendiente leve de 7.5 grados aproximadamente. Esta meseta está constituida por una secuencia de rocas carbonatadas. Entre el "horst" y el "graben" se encuentra un semigraben limitado por fallas normales. Este semigraben tiene una anchura media de 5 km. y en él, las rocas metasedimentarias erosionadas, permiten observar las rocas graníticas que las intrusionan, produciendo los llamados colgantes de techo ("roof pendants").

Abruptos cañones producidos por el drenaje de la región, cortan el bloque transversalmente, formando así cerros como el Peyote, Chiquelito, etc.



- I.- PROVINCIA DEL DESIERTO SONORENSE
- I.- PROVINCIA COSTERA DEL PACIFICO
- I.- PROVINCIA DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL

- A.- Subprovincia de Sierras y Valles Paralelos
- B.- Subprovincia de Barranca o de las Altas Mesetas.

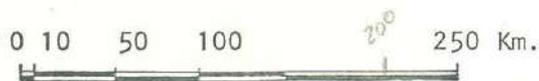


FIGURA 2

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
PROVINCIAS FISIGRAFICAS Y PRINCIPALES RASGOS HIDROGRAFICOS EN EL ESTADO DE SONORA.	
Fuente : King (1949) y otros.	Tesis Profesional E. Araux      R. Vega

Sierra El Batamote

A Bacanora

Sierra La Zacatera

Presa Plutarco Elías Calles

La Estrella

HORST O SEMI-HORST DE LA SIERRA LA ZACATERA

HORST DE LA SIERRA LA CAMPANERIA

SEMI-GRABEN

GRABEN DEL RIO YAQUI

Río Yaqui



ESCALAS



UNIVERSIDAD DE SONORA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FIG. 3.- PRINCIPALES RASGOS GEOMORFOLÓGICOS, OROGRÁFICOS E HIDROGRÁFICOS DE LA SIERRA LA CAMPANERÍA, SONORA CENTRAL.

TESIS PROFESIONAL  
E. ARAUX R. VEGA

Abril 1985

El "graben" se encuentra recubierto por derrames volcánicos que descienden con leve pendiente hacia el este de la sierra Novillo - Rebeico, intercaladas con formaciones sedimentarias conglomeráticas producidas por la erosión de los relieves, dando lugar a una morfología de lomas redondeadas con algunos escarpes producidos por fallamiento normal.

Los suelos aquí formados son jóvenes, poco o nada desarrollados, esto se acentúa en las mesetas carbonatadas debido a que su permeabilidad hace que el agua se infiltre y reduzca la erosión superficial, también por esto las calizas tienden a quedar en relieve.

La presencia de profundos cañones así como la intensa erosión, sugiere que el área se encuentra en su ciclo geomorfológico de juventud.

#### 4) Orografía e Hidrografía.

La Sierra la Campanería tiene una amplitud de 12 Km. desde el "graben" del río Yaqui hasta la sierra El Encinal localizada en el borde E del área estudiada.

Su parteaguas se extiende aproximadamente N-S, limitando al N con la sierra El Batamote. Se va elevando hacia el sur desde una altura de 1200 m. cerca de la carretera a Sahuaripa, hasta 1720 m., que es el punto más elevado de la sierra. Continúa en la misma dirección, de manera más accidentada destacándose en el mismo, la mina La Norteña y el cerro El Pinito con 1620 m de altura. Desciende paulatinamente hacia el este hasta 700 m donde se ve interrumpida por los relieves de los cerros La Anaconda y Los Toneles que tienen una elevación de 940 m y la sierra El Encinal con 1260 m. Al oeste se encuentran varios cerros paralelos que de norte a sur son: El Peyote (1020 m), Las Chivas (940 m), El Chiquelito (1060 m), Las Agujitas (900m), La Aguja (1380 m) y Cortado (1000 m.).

A partir de estos cerros al oeste se encuentra la planicie del río Yaqui con un promedio de 250 m. s.n.m. ( en el cauce ), del cual sobresalen algunos cerros formados principalmente por derrames andesíticos, entre ellos Las Ca -- bras (460 m).

La sierra El Batamote que es la continuación al N de la meseta carbonatada limita al sur por una gran falla de rumbo NW-SE cerca de la cual se encuentra su elevación máxima 1740 m.

El principal rasgo hidrográfico en el sector de estudio es el río Yaqui , el cual nace en Chihuahua y actualmente desemboca en la Presa Alvaro Obregón de donde es canalizado para irrigar el valle del Yaqui.

Recorre el área con un rumbo N-S partiendo de la Presa hidroeléctrica Plutarco Elías Calles conocida como presa "El Novillo", la cual es alimentada principalmente por el río Bavispe y el río Moctezuma.

A este río se unen una serie de arroyos que descienden hacia el oeste, desde el parteaguas de la sierra La Campanería. Entre los más importantes se hallan La Hoya, El Chiquelito, El Saucito, El Jacalón y El Aliso.

Otra serie de arroyos fluyen del parteaguas de la sierra hacia el oriente, donde se unen al arroyo El Venado el cual es afluente del río Bacanora, que a su vez desemboca en el río Bavispe aguas arriba de la presa "El Novillo". Entre estos los principales son: El Chubisco, Los Alisos, El Arado, La Guitarra y Torobusi.

Constituyen una región básicamente endorreica, cuya única salida es el río Yaqui. Su alimentación es esencialmente pluvial, aunque hay manifestaciones claras de ser subterránea también, como los arroyos El Chubisco, Los Alisos, El Jacalón que parten de los lugares más elevados de la sierra y cuyo nacimiento coincide con intersecciones de fallas.

El río Yaqui es perenne así como los arroyos de alimentación subterránea, mientras que la mayoría de los restantes son intermitentes, secos en el estiaje pero torrenciales en épocas de lluvia.

Existen varios tipos de drenaje: dendrítico como en los alrededores de la Mina La Norteña; enrejado en gran parte del área reflejando un control marcadamente estructural para el curso de los arroyos; también es común encontrar combinaciones de ambos.

##### 5) Objetivos de la Investigación.

Siendo Sonora el Estado de mayor producción de tungsteno en nuestro país, se vuelve necesario precisar las características geológicas de sus yacimientos, con el fin de facilitar la exploración de los ya conocidos y proporcionar algunos parámetros en la prospección de nuevos depósitos.

Con este propósito el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología impulsó el Proyecto Metalogenia del Tungsteno en Sonora en coordinación con la Dirección de Minas, Geología y Energéticos del Gobierno del Edo. de Sonora.

Para la realización de este proyecto se efectuó un convenio entre la Dirección antes citada, la Universidad de Orsay (Francia) y la Universidad de Sonora.

La dirección del proyecto estuvo a cargo del Ing. Efrén Pérez S.; la elaboración y desarrollo del mismo por el Ing. Geol. Didier Richard, quién además realiza tesis de doctorado.

El presente trabajo se llevó a cabo a partir de los convenios antes mencio-

nados y con el apoyo de los organismos involucrados en ellos.

Los objetivos principales a desarrollar son los siguientes :

- El levantamiento cartográfico a escala 1 : 50 000, para conocer el contexto geológico, desde el punto de vista estratigráfico, estructural y morfológico, en que se sitúan los diferentes yacimientos. Al mismo tiempo, definir la posición geológica que guarda el área de estudio a nivel regional.
- El estudio específico de las zonas mineralizadas para establecer el tipo de yacimiento al cual pertenecen, sus características geológicas y las condiciones fisicoquímicas que han conducido a su formación.
- Describir los principales tipos de yacimientos de tungsteno en el Estado de Sonora.

#### 6) Métodos de Trabajo.

El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en varias etapas. El levantamiento cartográfico se efectuó mediante caminamientos y secciones de campo apoyados en el mapa topográfico del INEGI H12D55 carta "Bacanora", escala 1 : 50 000 y fotointerpretación, utilizando fotos aéreas a la misma escala del plano, de la zona 60 A en los vuelos F17 (13-20), F18 (9-17) y F19 (14-20). Delimitándose los contactos litológicos y estructuras mayores.

En las labores mineras, en su totalidad abandonadas, se hicieron secciones geológicas esquemáticas, dando mayor énfasis a la mina La Norteña.

Se recolectaron muestras en las secciones geológicas y en las zonas mineralizadas para realizar estudios petrográficos en láminas delgadas.

Se mandaron fechar algunos fósiles recolectados a la Universidad de Orsay en Francia y a San Jose State University en Estados Unidos.

Las diferentes clasificaciones de las rocas utilizadas en este trabajo, se especifican en el apéndice A.

Se tomaron fotografías en el campo para ilustrar las observaciones y fotomicrografías de las muestras de interés.

#### 7) Trabajos Previos.

En el sector estudiado, sólo se han realizado estudios someros de evaluación minera enfocados principalmente en la mina la Norteña, por Torres (1982) - quién hace un reconocimiento geoeconómico; Pérez (1982) expone de una forma general la geología, clasifica al yacimiento dentro de los tipo skarn producido entre rocas sedimentarias (Paleozoico) y rocas graníticas de edad laramídica ;

Aguirre (1983) efectuó la cubicación de las reservas positivas y probables. - También Torres (1982) hizo una visita de evaluación a los lotes La Esperanza y El Novillo situados en la porción W del área.

Trabajos geológicos han sido efectuados en áreas circunvecinas, entre los cuales se pueden mencionar las tesis de maestría de T. Schmidt y L. Hewett -- (1978), en los cerros de la Zacatera (Sierra El Encinal) que colinda al este - del área. En ellas los autores, mencionan la presencia de tres unidades sedimentarias, que correlacionan litológica y paleontológicamente con la Formación El Tigre de edad Pérmico inferior. Describen también, una cuarta unidad informal denominada Fm. Mina México constituida principalmente de argilitas con una edad asignada permo-triásico y rocas volcánicas y plutónicas de edad cretácica.

Menicucci (1975) , realizó una tesis de doctorado en el oeste y noroeste - del área, abarcando la región de Hermosillo al río Yaquí en Sonora Central. Es te autor menciona rocas de edad probablemente precámbricas que afloran en la región de Mazatán (migmatitas), así como rocas de edad paleozoicas (Carbonífero \_ y Pérmico) en numerosas localidades del área como Cobachi, cerros los Chinos , etc. Rocas volcanoclásticas y marinas carbonatadas de edad presumiblemente Jurásico-Cretácico en las sierras de Agua Verde, Novillo-Rebeico y San Pedro de - la Cueva.

### III.- MARCO GEOLOGICO - HISTORICO REGIONAL DE LA SIERRA LA CAMPANERIA.

En Sonora afloran rocas de todas las eras geológicas. Las más antiguas -- que corresponden a la Era Precámbrica, se encuentran bien definidas al N del Es tado. Están constituidas por series metamórficas, cortadas por intrusivos -- greenvilleanos, además de rocas carbonatadas y detríticas con estromatolitos, que descansan en discordancia sobre las rocas anteriores en la región de Caborca.

En la sierra de Mazatán, rocas plutónicas que han sufrido un metamorfismo regional posterior, se consideran como precámbricas (Menicucci, 1975).

En los afloramientos paleozoicos pueden diferenciarse dos zonas basados en sus facies: Zona Norte - representada por potentes secuencias de facies neríticas de una plataforma subsidente que descansan en discordancia en el NW, sobre rocas carbonatadas y detríticas del Precámbrico y al NE sobre rocas metamórficas e intrusivas de esa edad. La posición cronoestratigráfica de esta secuen-- cia va del Cámbrico al Pérmico con hiatus en el Silúrico y parcialmente del Ordovícico y Devónico (Cooper et al. 1952; Rangin, 1982; y otros).

La Zona Central se halla caracterizada por una facies de cuenca, marcada por una sedimentación en un medio más o menos profundo. Va del Ordovícico - medio al Devónico superior. Existe además una serie discordante sobre la anterior, con depósitos carbonatados de facies neríticas con pasajes detríticos que inicia en el Mississípico inferior y finaliza en el Pérmico inferior medio -- (Noll, 1981). Es comparable a los depósitos de esa edad en Sonora Norte.

Diversas interpretaciones han sido propuestas para la paleogeografía del Paleozoico inferior, como la de Peiffer-Rangin (1979) que reconoce una zonificación del NW al SE de una plataforma carbonatada, una cuenca pelágica a hemipelágica que propone como una extensión hacia el Pacífico del Sistema Marathon - Ouachita-Apalaches. Esta teoría no se contrapone con las teorías de grandes deslizamientos propuestos por otros autores (Tardy, 1980; Anderson et al, 1981).

La sedimentación francamente carbonatada termina en el Pérmico superior -- (Guadalupeño) en la parte NW de Sonora (González, 1982) y en el Pérmico inferior (Leonardiano) en la parte central (Menicucci, 1975).

Posteriormente toma lugar una sedimentación clástica que continúa hasta el Jurásico inferior (Liásico). Todas las formaciones establecidas en estos periodos contienen intercalaciones marinas carbonatadas y lutíticas, más potentes en la zona noroeste, Rangin (1982) las considera como las primeras transgresiones tipo "Pacífico" sobre el continente Americano.

Menicucci et al (1982) consideran que la sedimentación clástica existía ya durante el Pérmico inferior, depositándose en los alrededores de paleobahías -- que se extendían en dirección este-oeste de un mar situado hacia el oriente, coexistiendo en ellas, ambientes transicionales marino, clástico marino y clástico.

El periodo Jurásico medio-superior sólo se tiene bien definido en la parte norte del estado, donde se reconocen tres ambientes de oeste a este: marino detrítico, sin intercalaciones volcánicas en Pozos de Serna con dataciones del Oxfordiano superior (Stump y Beauvais, 1976); volcánicas y volcanoclásticas en la región de Caborca del Jurásico medio en base a radiometría (Anderson y Silver, 1978); vulcanosedimentario en Cucurpe y Sinoquipe fechado del Oxfordiano superior en la cima (Rangin, 1977).

En Sonora central, Menicucci (1975) basado en la posición estratigráfica, atribuye del Jurásico-Cretácico a series vulcanosedimentarias azoicas.

Posteriormente Rangin (1982) considera estas mismas series, como la prolongación al sur del complejo volcánogeno de Alisitos del Cretácico inferior (Barremiano-Albiano) que se extiende de norte a sur en Baja California Norte.

Estas rocas volcánicas y vulcanosedimentarias afloran en las inmediaciones del área de estudio: al oeste, en la sierra del Novillo; al noroeste la Sierra de Aguacaliente y al norte la Sierra de San Pedro de la Cueva.

Las formaciones propuestas como integrantes de este complejo son: la Fm. Lista Blanca definida por Dumble (1900) en la región de San Marcial, la Fm. Potrero propuesta por King (1949) en la región de Sahuaripa y la Fm. Tarahumara - descrita por Wilson y Rocha (1946) en la región de Santa Clara.

Al mismo tiempo se produjo una transgresión sobre el NE del estado, proveniente de la cuenca marina oriental de Chihuahua, que depositó secuencias que varían de facies neríticas de plataforma a facies costeras, éstas últimas intercaladas con material volcánico y vulcanosedimentario, los cuales se van incrementando hacia el oeste. El Grupo Bisbee y la Fm. Palmar, en el NE y centro de Sonora respectivamente, representan esta etapa transgresiva.

Se menciona también la carencia de transición en la parte central, entre las rocas volcánicas y vulcanosedimentarias atribuidas a la Fm. Alisitos y las rocas sedimentarias marinas del Cretácico inferior (Rangin, 1982).

Durante el Cretácico superior, se depositaron en Sonora norte, importantes espesores "molásicos" que se alternan con material volcánico tipo explosivo que vienen a constituir el Grupo Cabullona, localizado en los alrededores de Agua Prieta.

Estos depósitos han podido ser datados y colocados dentro de un medio continental lacustre perteneciente a una depresión orientada sensiblemente NW-SE - (Taliaferro, 1933; Almeida y Martínez, 1981 y Almeida y Rangin, en preparación)

A partir del Cretácico superior un intenso magmatismo es difundido en todo Sonora. Tres episodios principales son reconocidos: el primero de composición intermedia-ácida datado entre los 90 a 40 m.a., está formado por cuerpos intrusivos que se extienden desde Baja California central a Sonora, ampliamente distribuidos en la provincia costera, mostrando una migración de edades hacia el E donde se encuentran los más recientes (Anderson y Silver, 1974).

Durante el Paleoceno-Eoceno se emplaza un complejo vulcano-plutónico relacionado a una importante mineralización cuprífera en el NE de Sonora.

El siguiente episodio de composición ácida, corresponde a la edificación de la Sierra Madre Occidental con una extensión mayor de los 1500 km. Cubre en discordancia a series paleozoicas, mesozoicas y paleocenas. Tiene un rango de edad comprendida aproximadamente entre los 40 y 20 m.a. (Damon et al, 1982).

Una secuencia volcánica intermedia aflora en la Isla del Tiburón, es considerada la extensión al E de la cadena andesítica de Baja California. Las edades tomadas aquí van de 16 a 22 m.a. (Gastil y Krummenacher, 1977).

Un vulcanismo de tipo alcalino viene a constituir el último episodio magmático. Estas rocas se hallan mal datadas, se supone su inicio en el Mioceno inferior culminando en el Plioceno, periodo en el cual, se encuentran interestratificadas con series molásicas continentales que se consideran pliocuaternas.

Se tiene entonces una visión a grandes rasgos de los grupos de rocas que conforman la geología de Sonora en el transcurso de las distintas eras.

A continuación se tratará de semidetallar el contexto petrológico y tectónico de la porción central de Sonora que representa las inmediaciones de la Sierra La Campanería.

### 1) Contexto Petrológico.

Las rocas asignadas al Precámbrico en Sonora central corresponden a formaciones gnéissicas, micaesquistos plegados y migmatitas, localizados principalmente en la Sierra de Mazatán y alrededores de la mina La Venada (Menicucci, 1975)

Los afloramientos paleozoicos en esta zona, han sido poco estudiados a detalle. Menicucci en su carta reconoce dos tipos: uno inferior constituido por calizas con intercalaciones centimétricas de pedernal, generalmente azoicas y a las cuales considera como Cámbricas (?) en base a correlación litológica con rocas de la región de Caborca; uno superior formado por calizas oscuras biógenas.

Posteriormente Noll (1982) define paleontológicamente una unidad de edad -Ordovícico superior-medio compuesta de argilitas con graptolitos, lutitas, areniscas y pedernal negro y limolitas; areniscas, pedernal con barita asociada y caliza micrítica con conodontos y braquiópodos del Devónico superior. La secuencia tiene un espesor total de 288 m. (Grupo Guayacán).

Discordantemente sobre la anterior, el mismo autor define una secuencia de calizas grises, con capas centimétricas y nódulos de pedernal, dolomías y numerosos niveles fosilíferos constituidos por crinoideos, briozoarios y braquiópodos. Esta unidad tiene un espesor de 1450 m. en el cerro Cobachi y es denominada como Fm. Picacho Colorado con una edad Carbonífero.

Las rocas que han sido descritas y datadas como pertenecientes al Carbonífero, tienen características comunes y una amplia distribución en todo el estado.

Schmidt y Hewett (1978) definen en la Sierra El Encinal -inmediatamente --contigua al oriente con la Sierra La Campanería- tres miembros informales del Pérmico inferior que consideran como pertenecientes a la Fm. El Tigre (descrita por Imlay en 1939 y Alvarez, 1949; en el mineral "El Tigre" a 120 km. al este y

sureste del poblado de Cananea ) y que consiste de la base a la cima de: 135 m. de calizas y dolomías grises (miembro El Torreón); 130 m. de areniscas cuarzosas blancas (miembro los Alisitos) y 753 m. de calizas limosas y arenosas con intercalaciones de areniscas, que contienen fósiles de fusulínidos de edad Leonardiana (miembro La Cueva). Sobreyaciendo concordantemente a esta unidad definen la Fm. Mina México, constituida por una secuencia homogénea de argilitas y wackas de grano fino, con un espesor estimado de 2000 m. Se le asigna una edad Pérmico superior-Triásico inferior (?) por su posición estratigráfica. Es comparable por su posición y litología con la Fm. La Vuelta Colorada definida por Noll (1981) en la Sierra de Cobachi, con un espesor de 1225 m. y que dicho autor considera del Pérmico superior (?).

La sedimentación clástica que se ha encontrada intercalada en estratos del Pérmico inferior, como en la Sierra El Encinal (Hewett, 1978) y otras regiones de la parte central, como por ejemplo en La Colorada, sugieren la existencia de paleobahías de edad Pérmico inferior, en cuyos alrededores se supone el inicio de la depositación clástica continental del Grupo Barranca (Menicucci et al 1981). Aunque Hewett (1978) y Córdoba y Montijo (1981) consideran que los sedimentos detríticos marinos que sobreyacen a estratos del Pérmico inferior, no se relacionan con los depósitos de dicho grupo.

El Grupo Barranca reconocido en muchas regiones de Sonora central, principalmente en las regiones de San Marcial, Tónichi, La Barranca y Tecoripa (las dos primeras localizadas al S y SW del área estudiada), está formado según Alen caster (1961) por tres formaciones que son de la base a la cima:

Fm. Arrayanes: areniscas cuarcíticas intercaladas con capas de lutita y conglomerado, espesor 700 m. Sobreyace en discordancia angular, en la localidad tipo a calizas presumiblemente paleozoicas.

Fm. Sta. Clara: areniscas, con intercalaciones de lutitas negras a veces carbonosas fosilíferas y con mantos de carbón, espesor 400 m. Su edad es Cárnico y cubre transicionalmente a la formación anterior.

Fm. Coyotes: areniscas cuarcíticas con intercalaciones de lutitas y conglomerados, espesor 650 m. La edad es post-Cárnico por su posición estratigráfica.

Este Grupo presenta numerosos cambios de facies (Rangin, 1974) e indica la existencia de cuencas endorreicas subsidentes invadidas esporádicamente por el mar.

Hacia el este en la región de Sahuaripa, King (1939) define la formación - Palmar del Cretácico inferior (Albiano medio) también estudiada por Himanga y Flinn (1978). Está formada por calizas con gasterópodos, argilitas, areniscas y dolomías con un espesor total mayor de 1500 m. en la S. El Chiltepín.



El complejo volcánogeno atribuido a la Fm. Alisitos y que aflora en Sonora central, reposa en discordancia sobre la serie carbonatada del Paleozoico o sobre el Grupo Barranca del Triásico superior. A pesar de que su edad es muy imprecisa, por su posición estratigráfica sería post-liásico y ante-cretácico superior ya que se encuentra intrusiónada por plutones granodioríticos de esta edad que marcan su límite.

Este vulcanismo es predominantemente andesítico y principia con facies epiclásticas y piroclásticas depositadas en un medio marino (estratificación de andesitas, tobas y aglomerados con calizas), posteriormente se emplaza en un medio continental emergido (coladas masivas, abundancia de material piroclástico) Rangin (1982).

En cuanto al plutonismo datado del Cretácico superior-Paleoceno, no presenta grandes variaciones. Petrográficamente se distinguen granodioritas, granitos, adamelitas, tonalitas, cuarzomonzonitas y raramente gabros. En las localidades estudiadas a detalle se ha observado que se trata de intrusiones múltiples (Damon et al, 1983). Al mismo tiempo se emplazan gran cantidad de rocas volcánicas andesíticas.

Las rocas que produjo la edificación de la Sierra Madre Occidental son principalmente ignimbritas riódacíticas y riolíticas aunque a veces hay rocas básicas intercaladas (Mc. Dowell y Clabaugh, 1979).

La última etapa del vulcanismo del Mioceno inferior(?) -Pliocuaternario, produce basaltos alcalinos llamados basaltos de mesetas. Yacen en discordancia sobre riolitas e ignimbritas del Oligoceno o bien, se encuentran intercalados con depósitos molásicos que constituyen la Fm. Baúcarit.

Este dominio intracontinental sigue predominando hasta nuestros días, depositándose en "grabens" asociado con vulcanismo alcalino (Gómez et al, 1981).

## 2) Contexto Tectónico.

Los eventos tectónicos al mismo tiempo que dan lugar a determinados tipos de depósitos, afectan los ya establecidos con deformaciones estructurales.

Las más antiguas deformaciones en Sonora ocurren durante la Era Precámbrica y son atribuidos a la llamada fase Mazatzal (1760 a 1660 m.a.) la que produce plutonismo y metamorfismo regional (Anderson y Silver, 1978).

Se ha postulado la existencia de un periodo de plegamiento con ejes NE-SW en la era paleozoica, entre el límite del Devónico-Mississípico, el cual se puede correlacionar con la fase devónica, responsable del cinturón orogénico -Antler en el SW de Estados Unidos (Noll, 1981). Esta fase es señalada por una

ligera discordancia entre el Devónico superior y el Mississípico en el norte del estado (Rangin, 1982). Más al sur, en Sinaloa, series vulcanosedimentarias atribuidas a esta edad se suponen metamorfizadas y deformadas por dicha fase (Peiffer-Rangin, 1979).

La depositación marina de plataforma continúa sin grandes disturbios a través del Carbonífero. A finales de esta época es cuando se reflejan movimientos de gran alcance producidos por la Orogenia Apalacheana responsable del contraste litológico general que existe entre las rocas carboníferas principalmente carbonatadas y las rocas del Pérmico superior en su mayoría detríticas (Dunbar, 1981) Este evento tectónico se caracteriza por plegamiento y levantamiento de la porción central de Sonora, es asignada por Rangin (1978) a la Orogenia Hercínica de fines del Paleozoico.

Fries (1962) define la Orogenia Sonorense (220-150 m.a.) a la cual atribuye las primeras fracturaciones de la plataforma paleozoica. Menicucci (1975) considera que las manifestaciones de esta fase en su sector, se limitan a acumulaciones de clastos permo-triásicos producidos al erosionarse los relieves.

El Jurásico medio-superior no es reconocido en Sonora Central. Algunos autores suponen la existencia de grandes desplazamientos a lo largo de fallas transformantes, para explicar la yuxtaposición de diversas zonas paleogeográficas en el N del estado. Rangin (1982) define una fase orogénica que denomina Nevadiana caracterizada por pliegues con ejes NNW-SSE inclinados hacia el E-NE durante el Jurásico superior.

Además de los pliegues isoclinales, menciona evidencias de metamorfismo regional y emplazamiento de batolitos de gran talla. Esta fase es seguida por un evento distensivo.

Durante el Cretácico medio, según el mismo autor, se lleva a cabo una tectónica de compresión tangencial, responsable del levantamiento y emersión general de Sonora y Baja California central. Es la llamada fase oregoniana o mesocretácica que engendra napas y cabalgamientos con vergencias opuestas en la región NE del estado. En Baja California las unidades han sufrido un transporte hacia el oeste y en Sonora hacia el este. En la parte central se puede observar, como la serie volcánogena de Alisitos (Cretácico inferior ?) cabalgó hacia el oriente a las secuencias sedimentarias (Rangin, 1982).

A partir del Cretácico superior al Paleoceno, se tienen eventos compresivos donde las estructuras tangenciales de la fase mesocretácica, son replegadas en pliegues de gran radio de curvatura con ejes NW-SE, rocas del Precámbrico y Paleozoico son empujadas al sureste y colocadas encima de los depósitos molási-

cos del Cretácico Superior. También durante este periodo se tiene el emplazamiento de plutonismo hipabisal migrando de oeste a este. Todos estos eventos compresivos y magmáticos constituyen la fase Laramide de Sonora.

Los cambios en la composición de las rocas magmáticas desde el Paleoceno hasta el Mioceno inferior, están relacionados a la velocidad de subducción y al ángulo de inclinación de la placa Farallón que se subduce bajo la placa Norteamericana. Posteriormente a esta fase, la extrusión de rocas volcánicas basálticas, nos indican ya la existencia de una fase distensiva, denominada "Basin and Range" constituida por grandes fallas normales con rumbo NNW-SSE las cuales dan lugar a los potentes sedimentos "molásicos" pliocuaternarios depositados en los "grabens" producto de esta fase.

#### IV.- GEOLOGIA DE LA SIERRA LA CAMPANERIA.

En la Sierra La Campanería y sus alrededores afloran grandes paquetes de rocas sedimentarias, las cuales en su mayor parte han sufrido los efectos de un metamorfismo térmico a escala regional, producido por rocas plutónicas graníticas.

Estas secuencias se han dividido en formaciones informales. Dicha división se ha hecho en base a la litología, diferenciándose cuatro formaciones sedimentarias: las tres primeras asignadas al Paleozoico y la última, al límite entre el Paleozoico y Mesozoico. Una unidad volcánica de probable edad Cretácico inferior; dos unidades volcánicas y vulcanosedimentarias del Terciario inferior-medio y por último una unidad constituida por rocas conglomeráticas del Terciario medio.

##### 1) Rocas Sedimentarias.

###### a) Formación Las Tierras.

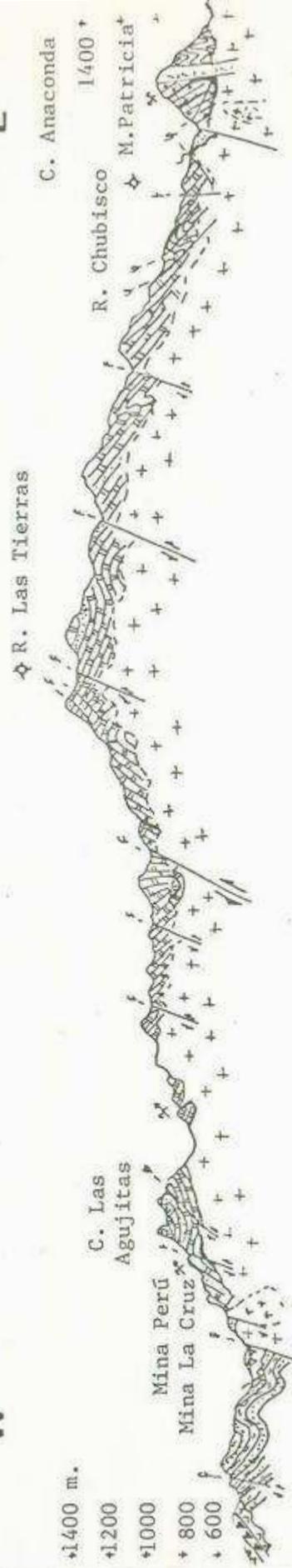
Ocurrencia. Esta secuencia está constituida predominantemente por mármoles con algunos niveles silíceos y pelíticos. Su distribución en el área es muy amplia, forma extensas mesetas y altos crestones. Gran parte de la secuencia puede observarse en la Sierra El Batamote, donde su amplitud de W a E sobrepasa la decena de kilómetros, manteniendo un espesor más o menos constante. El espesor medido en esta sierra es de 990 m. Aflora también a lo largo del camino al rancho Las Tierras hasta la mina La Norteña; en esta zona se encuentra la parte media superior de la secuencia. Así mismo, aflora en los cerros El Peyote, El Chiquelito, Las Chivas, Las Agujitas y La Aguja.

Intemperismo kárstico es visible en las partes carbonatadas de la unidad.

SECCION A-A'

W

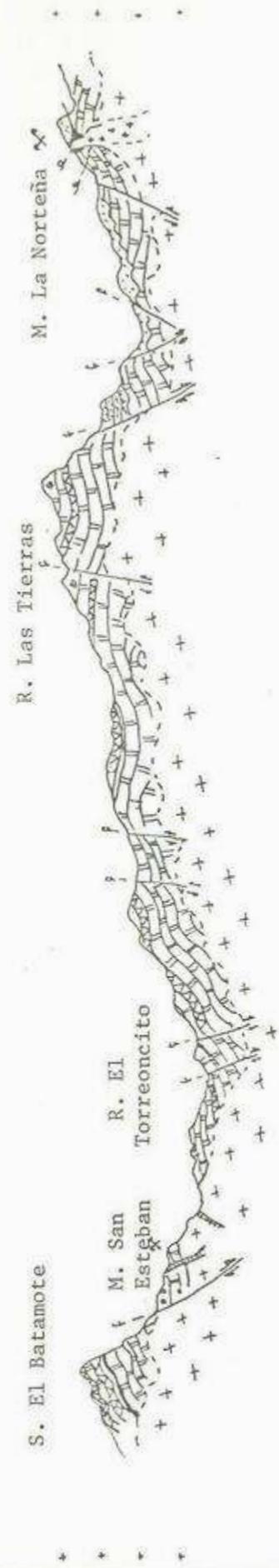
E



SECCION B-B'

N

S



-  Volcanismo Terciario: andesitas, brechas volcanosedimentarias, tobas.
-  Fm. Chubisco: Areniscas con bandas lutificas silíceas.
-  Mm. Toneles: corneanas silíceas con leves intercalaciones de mármol
-  Fm. Las Tierras: Mármoles con bandas y nódulos de pedernal, corneanas y pocas areniscas intercaladas.
-  Skarns y skarnoides
-  Esquistos
-  Granito y Granodiorita.
-  Diorita
-  Diabasa
-  Leucodiorita

-  Falla inversa
-  Falla normal

-  Rancho
-  Mina



FIG. 5

Litología, espesores y relaciones estratigráficas. En su parte inferior, consiste de aproximadamente 700 m. de un mármol masivo con niveles arenosos, de color gris claro a oscuro (vetillas milimétricas de calcita y sílice con pirita oxidada, lo cortan en todas direcciones).

Después de este depósito netamente carbonatado existe un cambio gradual a niveles más silíceos y pelíticos. Comienza con bandas estratiformes de pedernal blanco de hasta 30 cm. cuyo espaciamiento disminuye de 20 m. a 2 m. hacia la cima (Foto 2). Es seguido por un mármol gris claro con bandas centimétricas de pedernal negro, mármoles con bandas calcosilicatadas de hasta 25 cm. de espesor, una nueva capa de mármol gris claro masivo con nódulos de pedernal blanco y negro dentro de los cuales han logrado preservarse fósiles a pesar de la recristalización de la caliza que los contiene. Una cuarcita blanca de 10 m. de espesor sobreyace estos mármoles. Esta segunda zona tiene un espesor de 510 m.

El contacto inferior no se observa, ya que se encuentra intrusionado por cuerpos graníticos, como se ve en el semigraben del río Yaqui, en los alrededores del Torreoncito y en la porción NE del área. Espesor total 1210 m. aprox.

En el semigraben la erosión ha sido muy intensa, desgastando la secuencia carbonatada y dejando algunos bloques aislados como remanentes de techo. El contacto es sumamente irregular mostrando en parte asimilación de la unidad y en otras formación de skarn a lo largo del mismo.

El contacto superior está marcado por un conglomerado con matriz arenosa y clastos de caliza, que se observa en la carretera a Bacanora y en los alrededores del rancho Chubisco. Aunque también esta unidad está en contacto estructural con la Fm. Chubisco por fallamiento inverso de bajo ángulo en la Mina La Norteña (Ver fig. 16 A). También se encuentra sobreyacido en discordancia angular por derrames volcánicos de composición intermedia atribuidos al Cretácico. lo cual puede observarse en el C. El Chiquelito, en el camino a Bacanora cerca del Torreoncito y en el camino que desciende del rancho Las Tierras al arroyo Murrieta. Por último está en contacto estructural por medio de la falla Novillo con rocas volcánicas y conglomeráticas.

Petrografía y Petrogénesis. Los mármoles de esta secuencia están constituidos principalmente de calcita (Tabla 1). En la lámina No. 10 se puede apreciar que los cristales de calcita presentan maclas ondulantes que evidencian una deformación posterior a la recristalización. Presenta como minerales accesorios hornblenda, escapolita, diópsida, granate; algunos de ellos formados por difusión iónica a partir de impurezas existentes en las calizas otros son introducidos metasomáticamente como es el caso de la escapolita.

Los nódulos y bandas de pedernal están formados por sílice exclusivamente que se halla recristalizado, en ocasiones estructuras fosilíferas son visibles.

La parte inferior de la unidad contiene un porcentaje muy reducido de cuarzo detrítico que se incrementa hacia la parte superior. En la lámina No. 9 se observa un mármol de granate en contacto con un mármol arenoso, el primero se ha formado a partir de una caliza con arcillas como impurezas y el segundo de una caliza arenosa. El tamaño y redondez de las partículas de cuarzo indican transporte importante, aunque el mayor porcentaje indica que las condiciones de depósito van cambiando paulatinamente de netamente calcáreas a detríticas por lo que los minerales de metamorfismo son distintos en una y otra parte.

Las bandas calcosilicatadas son quizás producidas por metamorfismo térmico de bandas pelíticas, ya que están constituidas por minerales donde predominan el Ca, Fe y Mg como idocrasa y diópsida (lámina No. 46). Esta banda se encuentra intercalada en un mármol de diópsida con un leve porcentaje de cuarzo, así la roca original se deduce como una caliza con horizontes arcillosos finos.

Todas estas rocas han sufrido un metamorfismo térmico de grado bajo-medio con facies de hornfels de hornblenda, presentan además hidrotermalismo representado por cloritización, sericitización y por vetillas de cuarzo y calcita.

Durante el Paleozoico mares someros cubrieron grandes extensiones continentales, así se depositaron las calizas masivas de la parte inferior de la Fm. Las Tierras. En la parte superior de la secuencia, el mayor aporte silicoclástico afecta la depositación de carbonatos inhibiendo la formación de calizas, permitiendo el depósito de sedimentos más silíceos y pelíticos, que al metamorfizarse dan lugar a las distintas corneanas comunes en la parte superior de la unidad. Los conjuntos de fósiles encontrados como briozoarios, equinodermos, son constituyentes principales de plataformas carbonatadas bioclásticas primordialmente en el Paleozoico y Mesozoico (Tucker, 1981) y otros como los corales, indican condiciones de poca profundidad y salinidad.

En cuanto al depósito de nódulos de pedernal, se reconoce que se han formado durante la diagénesis en forma de concreciones que crecen alrededor de un centro de atracción (tal es el caso de los fósiles de esta unidad) del interior al exterior. También la diagénesis produce las bandas de pedernal al separar los sedimentos calcáreos y silíceos que comúnmente provienen del lavado de un traspaís sometido a la alteración. Algunos autores consideran que los tipos de microorganismos son determinantes en la depositación de carbonatos o sílice.

Fósiles, Edad y Correlación. Debido al metamorfismo al que fué sujeto esta uni-

dad, muy pocos fósiles pudieron preservarse, principalmente algunos contenidos en los nódulos de pedernal, los cuales se hallan silicificados. Estratigráficamente se encuentran en la parte media y superior de la formación. En las cercanías del rancho Las Tierras se encontraron briozoarios (*Fenestrella* ?), crinoideos y pelecípodos mal preservados. Al pie del C. Las Agujitas en su flanco occidental, se hallaron celenterados (tetracorales ?) silicificados, localizados en pequeñas lomas remanentes de erosión sobre el granito, por lo que su posición estratigráfica es incierta (foto 1)

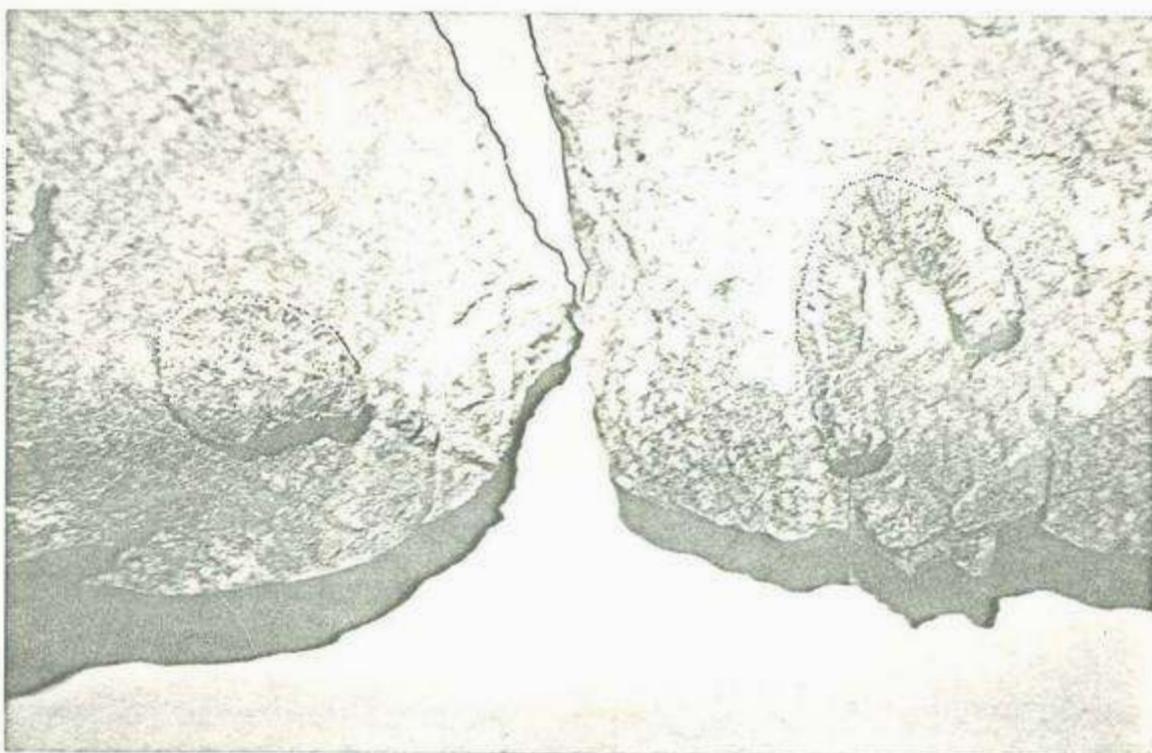


Foto 1.- Corales silicificados en un mármol gris perteneciente a la Fm. Las Tierras (C. las Agujitas).

En el flanco sur del mismo cerro se observan estructuras muy similares a fusulínidos, pero el grado de recristalización y deformación de estas rocas, impiden su identificación.

La asociación de crinoideos, briozoarios es muy común en rocas missisípi cas y pensilvánicas. Este conjunto es constituyente de las plataformas bio-- clásticas.

Los fósiles de esta unidad debido a su grado de recristalización, no pu-- dieron ser clasificados por lo que no se pudo precisar su rango de vida. Sin embargo, debido al carácter litológico y contenido faunístico, esta formación puede correlacionarse con formaciones asignadas al Carbonífero. Su límite in--

ferior puede extenderse quizás más allá (en el Paleozoico inferior), pero su límite superior debe ser más antiguo para permitir la depositación de las dos siguientes unidades que subyacen a rocas datadas del Pérmico inferior.

Esta formación representa sedimentos de plataforma muy comunes en Sonora central y norte. En la parte central se conocen numerosos sitios de afloramientos cuyo litología y fauna son similares (Menicucci, 1975; Noll, 1981). Puede correlacionarse con la Fm. Picacho Colorado (Noll, 1981) descrita en la Sierra de Cobachi, Son.; se relaciona también con la Fm. Represo (Weller, -- 1948; Alvarez, 1949) en las cercanías de Caborca. Con la Fm. Escabrosa y Horquilla del Mississípico y Pensilvánico respectivamente; descritas en la parte NE del estado, y con parte de la Fm. El Tigre definida por Imlay (1939) y Alvarez (1949) también en esa zona y que según los autores puede extenderse en las regiones de Cananea, Bavispe, Nacozari y Moctezuma.



Foto 2.- Mármoles con intercalaciones finas de bandas calcosilicadas (gra-dio-epi) y nódulos de pedernal blanco. Fm. - Las Tierras (Cerro Peyote).

TABLA 1  
FORMACION LAS TIERRAS

Lámina	No. 6	No. 9	No. 10	No. 46	No. 73
Mineral.	Calcita 68 % Cuarzo 2 % Diópsida 10 % Escapolita 20 %	I Calcita 70 % Cuarzo - Diópsida 7 % Granate 15 % Epidota 7 %	II Calcita 65 % Cuarzo 15 % Diópsida 7 % - Epidota 5 %	I Calcita 80 % Cuarzo 5 % Diópsida 7 % Idocrasa 2 % Ortoclasa 7 %	II 10 % 4 % 30 % 45 % -
Accesorios.	Minerales opacos 1 %	Min. opacos 1 % Plagioclasa - Felds. potás.-	Hornblenda Cordierita	Min. opacos 1 %	1 %
Secundarios.	Cuarzo Calcita Serficita	Cuarzo Calcita Arcillas Penina	Cuarzo Clorita	Cuarzo Penina	Serficita
Alteración	Silicificación Sericitización	Silicificación Cloritización	Silicificación Cloritización	Silicificación Cloritización	Sericitización oxidación
Textura	Porfidobiástica	Porfidobiástica	Granoblástica	Poligonal	Porfidobiástica
Nombre	Mármol de escapolita	Mármol de granate/ Diópsida	Mármol de hornblenda	Mármol / Banda calcosilicatada	Mármol de escapolita
Grado metamórfico	Bajo, Facies: H. de hornblenda.	Bajo, Facies: H. de hornblenda.	Bajo, Facies: H. de hornblenda.	Bajo, Facies: H. de hornblenda.	Bajo, Facies: H. de hornblenda
Paragénesis	Calcita + Diópsida + escapolita + cuarzo	Gros+diópt+ calc. Diópt+feld.K + czo + calc.	Cordierita + hornblenda + calcita	Calc+Czo. Ort+diópt+calc+cz.	Calcita + escapolita
Observaciones	Estructuras de compresión: maclado de calcita deformado		Estructuras de compresión: calcita con maclado deformado.		

b) Formación Chubisco.

+ Ocurrencia. Está constituida básicamente por alternancia de areniscas claras y lutitas negras con escasos y delgados espesores de mármol. Toda la secuencia se halla metamorfizada. Se localiza sobre la carretera a Bacanora, dos kilómetros antes del rancho El Torreoncito, en los alrededores de la mina La Norteña al N y E del rancho Las Trincheras y al S y W del rancho Chubisco.

Generalmente ocurre como cerros y lomas de poca elevación con suave pendiente, las areniscas se encuentran muy erosionadas, fracturadas y cubiertas por suelo de color rojizo provisto de extensa vegetación que enmascara su presencia, por lo que su continuidad y sus contactos no son muy marcados.+

Presenta escarpes, producto de fallamiento donde se puede apreciar las rocas sin alteración.

Litología, espesores y relaciones estratigráficas. La secuencia comienza con una cuarcita blanca seguida por una brecha (5 m.) con clastos de caliza después areniscas de color gris de grano fino, intemperizan a anaranjado con fósiles al parecer retrabajados, en ocasiones con clastos de caliza; alternancia métrica de areniscas blancas a grises con lutitas negras silíceas de estratificación fina; metaconglomerado de color blanco con clastos de cuarzoarenita, lutita silícea negra de aproximadamente 20 m. de espesor y por último una arenisca de cuarzo blanca que intemperiza a anaranjado debido a la oxidación de sus minerales de fierro, con algunas intercalaciones menores de lutita silícea negra con un espesor de 150 m. (foto 3)

El espesor medido en la sección C-C' es de 485 m. En los alrededores de la mina La Norteña, del rancho las Trincheras así como en la carretera, se observan intercalaciones métricas de mármol gris dentro de esta secuencia.

+ El contacto inferior está marcado por una brecha erosional que contiene clastos de caliza con fósiles. En la mina La Norteña el contacto es estructural por medio de fallamiento inverso de bajo ángulo presentando cabalgamiento a pequeña escala+(fig. 13 y 16 A).

En la carretera a Bacanora como en los alrededores del rancho Chubisco se halla intrusionada por rocas graníticas.

También se encuentra en contacto con el granito por medio de fallamiento normal, en los alrededores del rancho Las Trincheras.

+ La parte superior de esta formación se ha diferenciado como miembro tonales e indica un cambio transicional.+



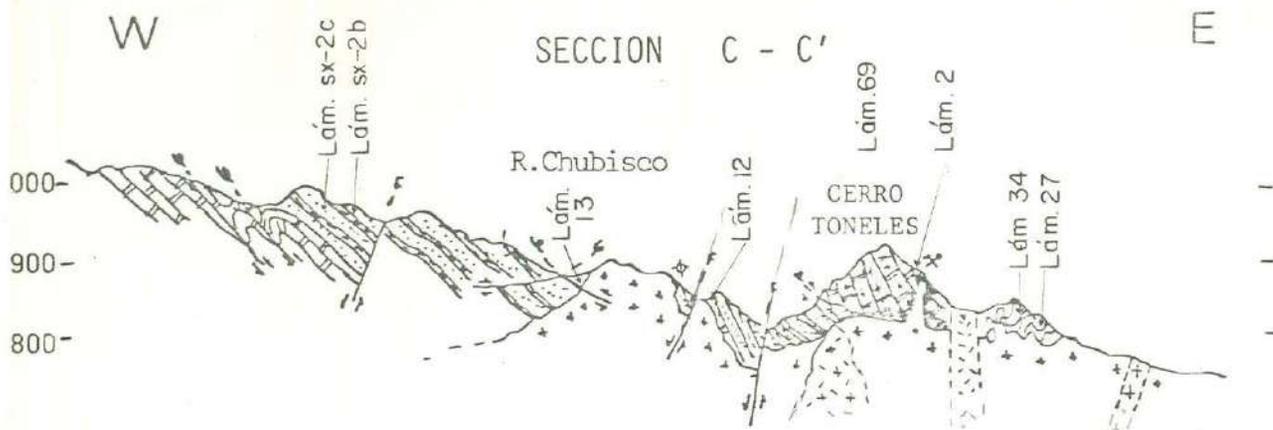
Foto 3.- Areniscas con intercalaciones de lutitas silíceas negras con estratificación fina (Fm. Chubisco). Pueden observar se pliegues recostados con vergencia al NE, además de fallas normales (carretera a Bacanora) tomada al Sur.

Petrografía y Petrogénesis. Dos láminas cercanas a la base de la secuencia (SX-2C y SX-2B) muestran que se trata respectivamente, de una corneana de wollastonita y de una cuarcita de wollastonita. En la corneana se aprecia todavía la existencia de calcita y cuarzo de la roca original, además de granate como mineral metamórfico, lo cual indica una facies metamórfica de hornfels de hornblenda de grado medio. A pesar del metamorfismo, se conservan estructuras sedimentarias que semejan corales coloniales de 4 mm. de diámetro (SX-2C).

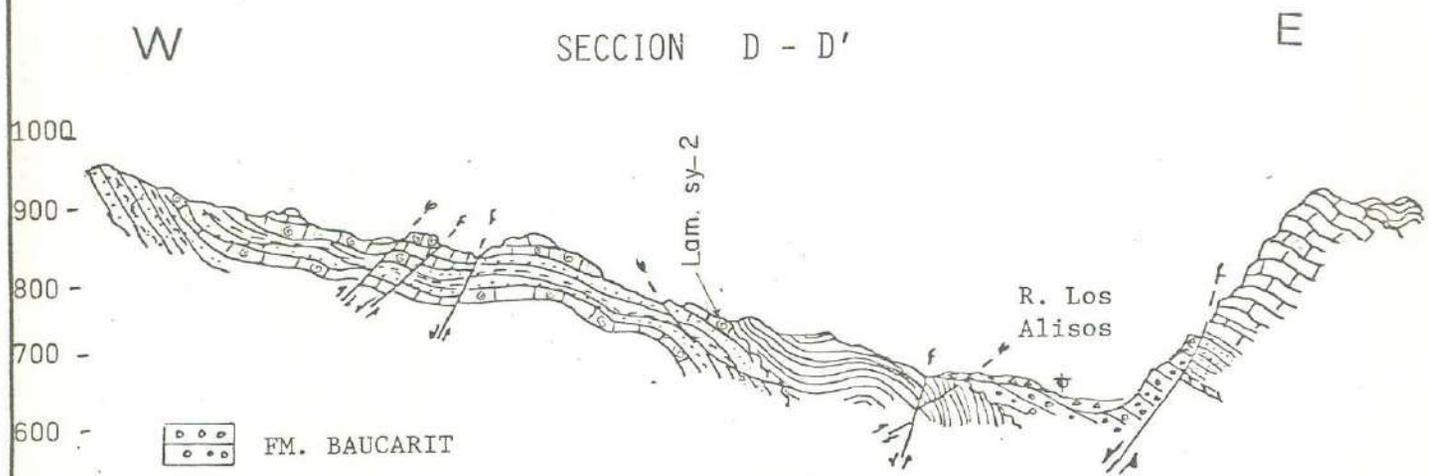
La cuarcita presenta granos de cuarzo finos a muy finos con cristales fibrosos de wollastonita bien desarrollados, la composición mineralógica sugiere que la roca original era una arenisca calcárea o una calcarenita, el cementante calcáreo es autógeno. La madurez textural refleja el transporte importante requerido para el redondeamiento de los detritos, o un continuo retrabajamiento. El metamorfismo de contacto produjo la reacción siguiente:

$\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \rightleftharpoons \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$  que se lleva a cabo de 400 a 900 °C según la fugacidad de  $\text{CO}_2$  (Winckler, 1978), sin introducción de elementos.

En las rocas lutíticas se realizaron dos láminas.. La No. 5 está compuesta por fragmentos angulosos de limolita-arenisca muy fina, mostrando cizalla-



- |  |                 |  |                        |
|--|-----------------|--|------------------------|
|  | FM. TONELES     |  | ZONA DE ESQUISTOS      |
|  | FM. CHUBISCO    |  | GRANITO Y GRANODIORITA |
|  | FM. LAS TIERRAS |  | LEUCODIORITA           |
|  | ZONA DE SKARN   |  | APLITA                 |
|  | FALLA NORMAL    |  | DIABASA O DIORITA      |
|  | FALLA INVERSA   |  |                        |
|  | MINA            |  |                        |



- |  |                 |  |                                    |
|--|-----------------|--|------------------------------------|
|  | FM. BAUCARIT    |  | ALUVION Y COLUVION PLIOCUATERNARIO |
|  | FM. MINA MEXICO |  | FALLA NORMAL                       |
|  | FM. EL VENADO   |  | FALLA INVERSA                      |

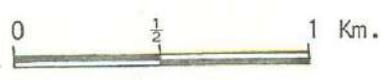


FIGURA 6.-

miento en los contactos. Está constituida principalmente por granos de cuarzo recristalizado y material orgánico, en cantidad reducida muscovita y pirita oxidándose (Foto 4).

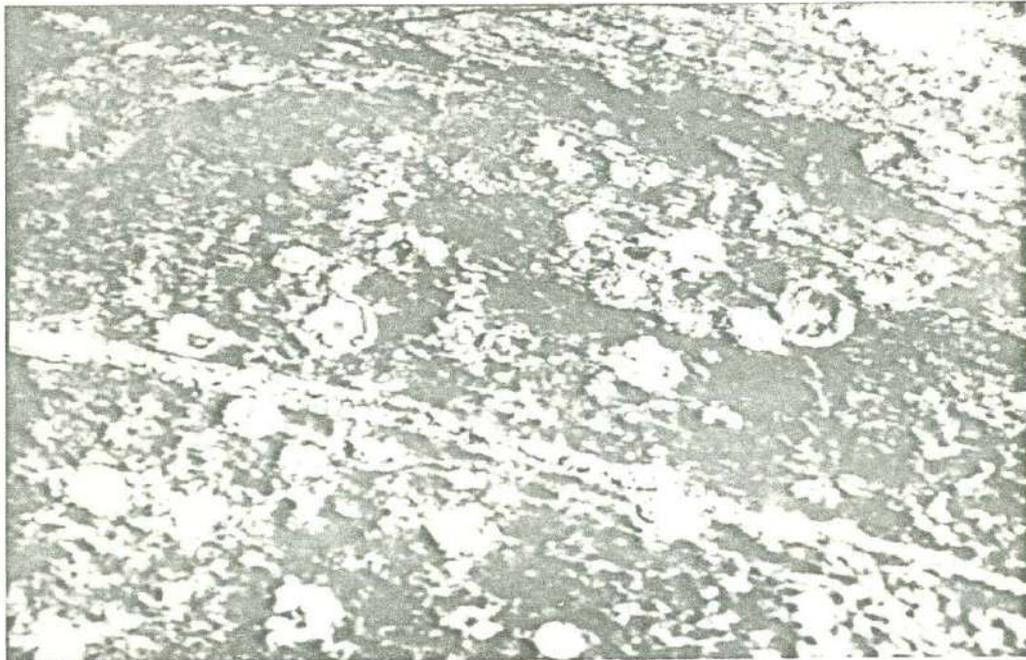


Foto 4.- Microfotografía de una argilita silícea carbonosa de la Fm. Chubisco (lám. No. 5). En negro materia carbonosa en blanco cuarzo recristalizado. Se observan estructuras esféricas posiblemente microfósiles (alrededores de la mina La Norteña).

En la lámina No. 12 se observa una mayor homogeneidad, está formada por arcillas, cuarzo y circón, el tamaño de grano es muy fino por lo que corresponde a una lutita-limolita. El metamorfismo en esta roca está presente como una leve recristalización, mientras que en la No. 5 ésta es más marcada.

Un conglomerado formado por fragmentos de cuarcita redondeados se observa en la lám. No. 13. En ella, los cristales de cuarzo tienen extinción ondulante existen también cristales de feldespato potásico un poco alterados, imbuidos en una matriz compuesta por calcita y cuarzo microcristalino. Como producto de alteración tiene clorita fibrosa y radial creciendo en las vetillas de cuarzo que atraviesan la roca y sericita alterando los feldespatos. Este tipo de roca se produjo por metamorfismo de contacto de un conglomerado "intraformacional" y un intrusivo granodiorítico.

El contenido detrítico de la formación aumenta gradualmente de areniscas calcáreas en la base, a areniscas más puras en la cima. La presencia de cora--

les y crinoideos indica que se trata de un ambiente marino estable de mares someros y cálidos. El retrabajamiento de las partículas señala una depositación lenta. La intercalación de lutitas negras indica cambios periódicos en la depositación, ya que estas corresponden a niveles de menor energía, el color negro de éstas, se debe a la materia orgánica diseminada, cuya acumulación es favorecida por circulación de aguas restringidas y deficientes en oxígeno, lo que favorece también la formación de pirita diagenética existente en las argilitas negras y común en los niveles arenosos. El conglomerado indica posiblemente un periodo leve de erosión ya que no marca un cambio brusco en las condiciones de depósito.

+Fósiles, Edad y Correlación. Se encuentran solamente crinoideos en fragmentos de calizas cerca de la base de la unidad. Algunas impresiones de crinoideos y corales en su parte media. Ninguno de los especímenes recolectados es específico por lo que la datación de esta unidad es incierta. Sin embargo, por su posición estratigráfica es atribuida al Pensilvánico superior-Pérmico inferior, por sobreyacer a la Fm. Las Tierras considerada por correlación como carbonífera y subyacer a la Fm. El Venado datada del Pérmico inferior.+

Se correlaciona en parte con el miembro Arenisca Los Alisitos definida por Hewett (1978) en la Sierra El Encinal. Otros afloramientos de rocas similares a las de esta unidad tanto por su litología como por su posición estratigráfica son descritas por Menicucci et al (1982), en varias localidades de Sonora central, las cuáles pueden ser correlacionables al menos en parte: Las montañas Copete (Dto. Cerro de Oro, Rayón), Sierra de López (Mina La Verde), Cerro Pelón (La Colorada). Córdoba y Montijo (1981) describen una unidad de areniscas a la cual denominan Capas Silíceas que al parecer sobreyacen discordantemente a la Caliza Picacho Colorado del Carbonífero. *Pérmico*

En el NW del estado puede correlacionarse con la parte inferior de la Fm Los Monos (Keller, 1928; Cooper y Arellano, 1946) que consiste de 300 a 400 m. de areniscas y lutitas que subyacen a calizas datadas del Pérmico inferior (Leonardiano). *unidades*

En las formaciones descritas en el NE de Sonora, en el periodo comprendido del Pensilvánico medio al Pérmico medio, no se encuentran secuencias similares a la Fm. Chubisco, sino que predominan calizas marinas de plataforma según diversos autores.

TABLA 2

FORMACION CHUBISCO

	No. 5	No. 12	No. 13	SX-2C
mina eral	Cuarzo 70-80 % Materia Carbonosa 20-30 %	Arcillas 96 % Cuarzo 3 %	Fragmentos de roca Cuarzo 60 % Calcita 20 % Ortoclasa 18 % 2 %	Woolastonita 75 % Cuarzo 10 % Granate 7 % Calcita 3-5 %
eso- s	Muscovita 1 % Pirita	Circón 1 %		Minerales opacos 2 %
unda- s		Cuarzo en vetillas y relle- nando huecos. Calcita en vetillas Minerales opacos	Cuarzo en vetillas Clorita en vetillas	Calcita en vetillas
era- ón	Oxidación	Silicificación	Cloritización Silicificación	Oxidación
xtura mbre	Brecha argilácea*(carbonosa)	Argilita carbonosa *	Metaconglomerado.	Porfidoblástica Corneana de Wollastonita
ado me- mórfico	Muy bajo (leve recrystalización)	Muy bajo (leve recrystalización)	Muy bajo (leve recrystalización)	Bajo - medio
serva- ones	Materia carbonosa en los in- tersticios. Fragmentación posiblemente Tectónica.  * El término argilita se refiere a una roca de arcilla al igual que la lutita, pero aquélla se refiere a una roca firmemente endurecida y con	Materia carbonosa que le dá color oscuro a la roca, cor- tada por vetillas de sílice con minerales opacos y por vetillas de calcita.	Clastos redondeados, indican- do un buen transporte, son - de areniscas de cuarzo.	Tienen estructuras sedi- rias delineadas por mat- orgánico, semejan coral

b.1) Miembro Toneles.

Esta unidad se asigna como miembro de la Fm. Chubisco, debido a que presenta un cambio litológico tanto con la parte inferior de la formación mencionada, como con la Fm. El Venado que la sobreyace. Al parecer es sólo una secuencia de transición entre ambas.

Ocurrencia. Esta secuencia presenta alternancia de corneanas calcosilicatadas con pocos espesores de mármoles. Aflora principalmente en los cerros - la Anaconda y Los Toneles, así como al E de la mina la Norteña (?) (Ver fig. 6 sección C-C').

Forma relieves escarpados ya que las corneanas que la constituyen son relativamente resistentes a la erosión.

Litología, relaciones estratigráficas y espesores. Está constituida de la base a la cima por un mármol gris con laminaciones que intemperiza a rojo, - mármol arenoso con zonas menores de un metro, de brechas compuestas por clastos de sílice de 2 cm. promedio, corneana de color verde claro con bandas sobresalientes producidas por erosión diferencial, corneanas de granate con piritita diseminada. Tiene aproximadamente 400 m. de espesor de los cuales sólo 50 m. son de mármoles masivos.

La relación de este miembro con la parte inferior de la unidad es transicional y se observa en el flanco occidental del C. los Toneles.

El contacto superior no se observa, dado que el miembro está intrusionado por el granito.

Petrografía y Petrogénesis. La mineralogía de las corneanas de esta unidad se puede apreciar en la lámina No. 2, la cual muestra cristales de wollastonita bien desarrollados, calcita en grandes cristales y en ocasiones rellena huecos, granate automorfo, con inclusiones de wollastonita, epidota microgranular entre los cristales de wollastonita, cuarzo en cristales pequeños imbuidos en la calcita, escasos cristales subhedrales de diópsida. La textura es granoblástica, no presenta alteración y por su paragénesis gro-dio-calc-czo o gro-dio-woll define la facies de hornfels de hornblenda para rocas con un grado medio de metamorfismo.

Los niveles más finos de la unidad los forman cuarcitas de grano fino, una muestra de ellas es la lám. No. 69, formada por granos de cuarzo recristalizado, diópsida un poco alterada a arcillas, alrededor de minerales opacos lo mismo que la idocrasa y el granate el cual se está alterando a penina. La idocrasa presenta alteración a calcita. La roca tiene una textura porfidoblástica, los minerales mayores de diópsida e idocrasa en una matriz granoblástica de cuarzo.

La roca original podría corresponder a una arenisca de grano fino con impurezas arcillosas que contienen Ca, Al y Mg. Mientras que la roca original de la lámina No. 2 podría haber sido una roca calcárea con alto porcentaje de cuarzo y con pocas impurezas conteniendo Al y Fe.

El ambiente de depósito es similar al de la formación anterior, salvo por un mayor aporte arcilloso que proporciona los elementos como Al, Mg, Fe... que permiten la formación de los minerales calcosilicatados que caracterizan la secuencia, también aumenta el porcentaje de carbonato, pero son raros los niveles calcáreos puros. Por otra parte, se observa un importante metasomatismo en la zona del contacto con el granito a través de capas selectivas, representado por acumulación de granate rojo oscuro en cristales de hasta 3 cm. de diámetro y en ocasiones con scheelita diseminada.

**Fósiles, Edad y Correlación.** Los espesores carbonatados en esta unidad son muy reducidos y se hallan fuertemente recristalizados, y no se encontró en ellos ningún rastro fósil, sucediendo lo mismo en las corneanas. Así la edad sólo puede fijarse en base a sus relaciones estratigráficas, con la formación Chubisco a la cual sobreyace, considerándose como Pérmica inferior. La relación que guarda esta unidad con la formación El Venado no es conocida con certeza.

Se correlaciona con el miembro La Cueva descrita por Hewett e Himanga (1978) Es similar litológica y estratigráficamente a la parte superior del Miembro 3 - (Capas silíceas) propuesta por Córdoba y Montijo (1983) al sur de la Sierra de Cobachi.

#### c) Formación El Venado.

**Ocurrencia.** Esta unidad está conformada por alternancias decamétricas de areniscas, lutitas y mármoles. Se localiza en la parte SE del área de estudio, al sur del arroyo los Tubos y al W del camino Bacanora-Tónichi. Tiene un rumbo general al NW y aflora en lomas abruptas separadas por arroyos más o menos paralelos que siguen un rumbo W-E.

La erosión en estas rocas es aún incipiente, probablemente debido a que esta zona corresponde al bloque hundido de la falla normal llamada por Hewett (1978) como falla Jiropa y a lo largo de la cual transcurre el arroyo El Venado también debe tomarse en cuenta la dureza proporcionada a estas rocas por el metamorfismo.

**Litología, relaciones estratigráficas y espesores.** La secuencia comienza con una arenisca de cuarzo blanco de grano medio que intemperiza a anaranja-

TABLA 3

MIEMBRO TONELES

Lámina	No. 2	No. 69	
Mineral.	Wollastonita Calcita Granate Epidota Cuarzo	60 % 10 % 8 % 7 % 7 %	Cuarzo Diópsida Idocrasa
Acceso- rios	Diópsida	2 %	Granate Minerales opacos
Secunda- rios	Calcita relleno huecos		Calcita Penina Cuarzo relleno
Altera- ción			Cloritización Silicificación
Textura	Granoblástica		Porfidoblástica
Grado Metamór- fico.	Bajo		Bajo
Nombre	Corneana de Wollastonita		Cuarcita de Diópsida
Observa- ciones.			

por los óxidos de hierro, con interestratificaciones centrimétricas de lutitas negras, con un espesor aproximado de 50 m. Sobre ésta se encuentra un mármol gris ( 60 m. ) que intemperiza a un color más oscuro, con restos de fósiles de crinoideos, briozoarios y fusulínidos, éstos últimos muy abundantes en estratos de poco espesor. Siguen en la secuencia mármoles grises con bandas centimétricas de pedernal blanco con erosión diferencial que las resalta. Después se encuentra una arenisca de cuarzo metamorfozada de color blanco-rosa con bandas centimétricas de lutitas negras con sulfuros diseminados (pirita y calcopirita) en parte oxidados. Esta arenisca presenta zonas con estratificación cruzada de tamaño centimétrico y tiene un espesor de 220 m. Termina con un mármol gris fosilífero (fusulínidos), con vetillas de sílice y óxidos de hierro muy finas con un espesor de 150 m.

El espesor total de la secuencia expuesta en esta zona es de 480 m. los echados medidos indican plegamiento y existen fallas inversas que la cortan. El contacto inferior parece transicional con areniscas limolíticas calcáreas que probablemente corresponden a la parte superior de la Fm. Chubisco (Miembro Tonelles). El contacto superior parece discordante con la Fm. Mina México dado que el cambio litológico es muy abrupto.

#### Petrografía y Petrogénesis.

De esta formación se tiene una sola lámina (SY-2) la cual muestra la porción fosilífera de la secuencia. Se trata de fusulínidos de hasta 1 cm. de longitud, inmersos en una matriz micrítica poco recristalizada (Foto 5), a veces los fósiles están reemplazados por sílice lo cual se produjo durante la diagénesis. También se observan vetillas de calcita que indican circulación de fluidos. La roca original según Dunham corresponde a un Mudstone y según Folk a una biomicrita. El metamorfismo es muy leve representado por recristalización.

La alternancia de espesores netamente detríticos con otros completamente carbonatados indican cambios cíclicos en las condiciones de sedimentación, lo que es confirmado por la presencia de fusulínidos en las capas calcáreas. Esto sugiere un ambiente deposicional marino con etapas regresivas y transgresivas.

Fósiles, Edad y Correlación. Esta es la única unidad cuyos fósiles han podido ser determinados. Se trata de crinoideos, briozoarios y fusulínidos del género *Parafusulina* sp. (Foto 5) que datan la secuencia del Pérmico inferior (Leonardiano). Fueron determinados por el Dr. Carl S. Stevens en la Universidad del Estado de San José, California.

Debido a su litología, fauna y posición estratigráfica puede correlacionarse con el miembro Torreón descrito por Hewett y Schmidt (1978) en la Sierra El Encinal contigua al área de estudio.

También es correlacionable estratigráficamente con secuencias carbonatadas y detríticas carbonatadas descritas por Menicucci (1975) en su sector.

En el NW del Estado es correlacionable con la parte superior de la Fm. Los Monos del Leonardiano, datada por fusulínidos (Keller, 1928 ; Cooper y Arellano, 1946).

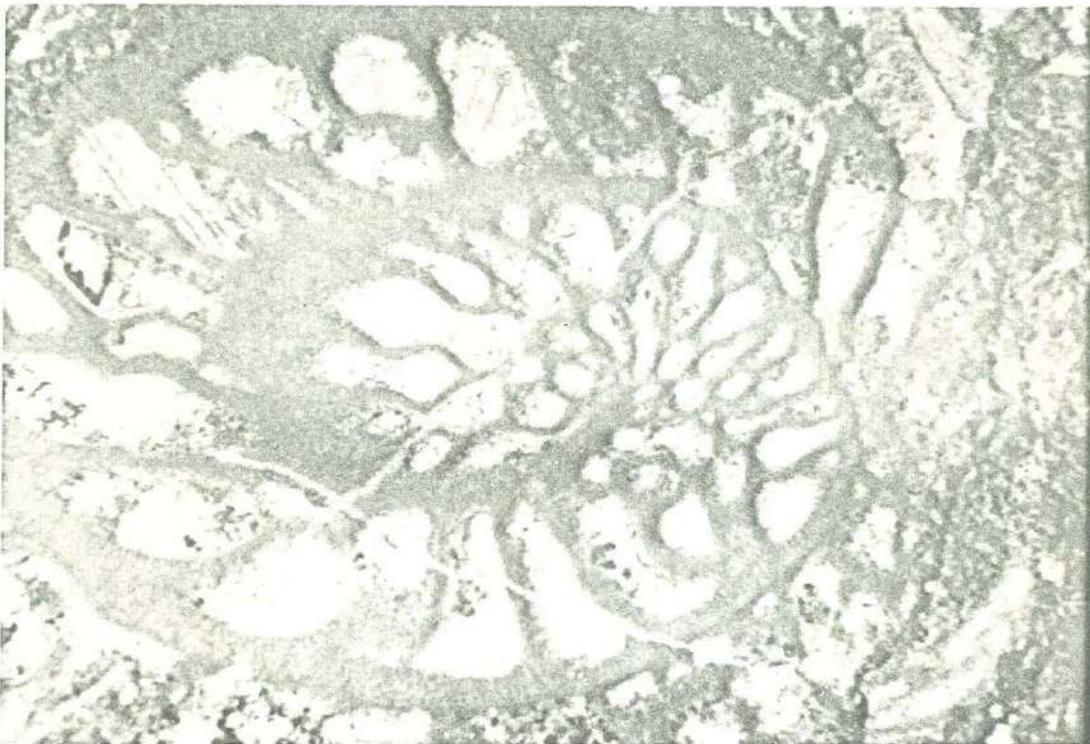


Foto 5.- Microfotografía (4X) que muestra un fusulínido del género *Parafusulina* sp. de edad Leonardiano, en una caliza micrítica de la Fm. El Venado ( Arroyo Los Alisos).

#### d) Formación Mina México.

Ocurrencia: Consiste de limolitas de color verde claro, con algunas capas de arenisca de grano fino de color rojo y capas lutíticas silíceas de color negro, la estratificación es fina con un rumbo general al NW, se encuentra fracturada y alterada ( Foto 6 ).

Se localiza en la porción SE del área, en lomas suaves de poca elevación. Estas rocas presentan resistencia a la erosión.

Litología, relaciones estratigráficas y espesores. Litológicamente esta unidad es muy homogénea, está formada principalmente por limolitas de color ver-

de claro, que intemperiza al mismo color , con algunas intercalaciones esporádicas a escala centimétrica, de lutitas negras y areniscas de grano fino de color rojo-naranja que intemperizan a rojo, en su mayor parte esta unidad se encuentra fuertemente fracturada.

El espesor encontrado en el área es de 230 m. sin embargo en los Cerros La Zacatera , contiguos al área de estudio, Hewett (1978) considera un espesor estimado de 2000 m. .

Su contacto inferior es discordante sobre una caliza gris, que corresponde a la parte superior de la Fm. El Venado (Fig. 6 sección D-D'), el contacto es abrupto sin rastros de conglomerados o brechas. El contacto superior no se observa, aunque en el área se halla cubierto en discordancia angular por conglomerados de estratos gruesos, correspondientes posiblemente a los de la Fm. Baúcarit (Foto 6).

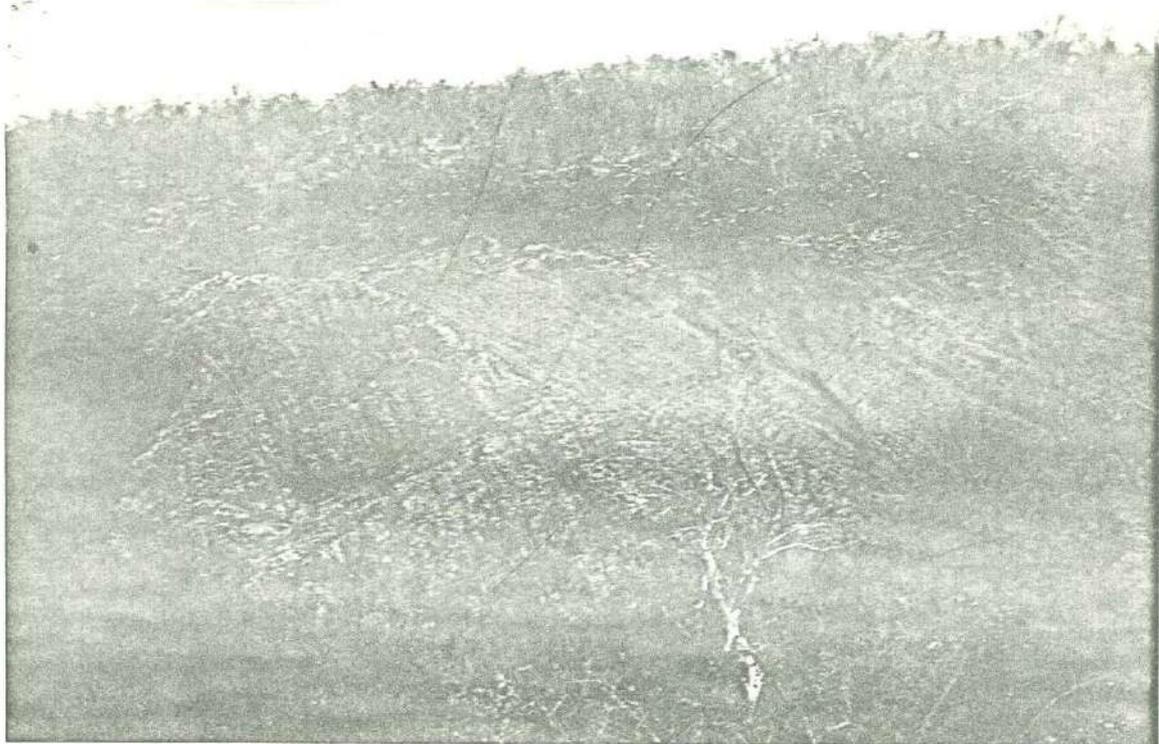


Foto 6.- A la izquierda se observa la Fm. Mina México con estratificación fina con R 9° NW y E 72° NE. Sobre ella en discordancia angular, conglomerados de estratificación gruesa de la Fm. Baúcarit. Ambos cubiertos por coluvión -- pliocuaternario. Vista al N. (Arroyo Los Alisos).

La coloración verde de estas rocas indican que no contienen hematita, materia orgánica ni sulfuros de fierro, pero resultan de la oxidación de  $Fe_2O_3$  entre las laminillas de illita y clorita (Tucker, 1981). La zonas de color rosa-rojo son debidas a la presencia de hematita y reflejan la naturaleza oxidante -

del ambiente deposicional o diagenético.

El material detrítico así como la homogeneidad y estratificación fina de esta secuencia, sugieren que su ambiente de depósito debió ser el de una cuenca o una plataforma profunda, caracterizada por la ausencia de luz, consecuente descenso de la temperatura e inadaptación para la vida de organismos bentónicos además de la baja energía que impide la mezcla con otro material sedimentario.

Fósiles, Edad y Correlación. Dentro de esta unidad no fueron encontrados fósiles. La edad se considera con reserva como Pérmico superior-Triásico ? por estar sobreyaciendo a la Fm. El Venado, donde fueron datados fusulínidos de edad Leonardiano.

Se correlaciona por su litología y posición estratigráfica con la Fm. La Vuelta Colorada descrita por Noll (1981) en la sierra de Cobachi. Es similar por su carácter detrítico y posición con la Formación Arrayanes (Alencaster, 1961). La edad de ambas formaciones es incierta pero ambas son atribuidas al Pérmico superior-Triásico inferior, por lo que quizás se trate de afloramientos del Grupo Barranca.

#### e) Unidad Sedimentaria Silícea del Cerro Peyote.

Se trata de una secuencia sedimentaria homogénea, constituida de limolitas de color verde claro, cuyas relaciones estratigráficas son inciertas ya que se encuentran rodeadas por un conjunto petrológico complejo. Sus afloramientos son muy reducidos, se observaron solamente en el flanco norte del C. Peyote, 6 Km. al NE del poblado La Estrella sobre la carretera Hermosillo-Sahuaripa.

Sus relaciones estructurales pueden apreciarse en la Fig. 7. Por una parte están en contacto estructural con rocas máficas que muestran variaciones laterales de composición y textura, y que son intrusionadas por el granito; éstas a su vez, están en contacto con mármoles con nódulos de pedernal atribuidos a la Fm. Las Tierras. Por otro lado están en contacto por medio de una falla, con un delgado espesor de areniscas de cuarzo y cuarzofeldespáticas que muestran una fuerte alteración y fracturamiento.

En muestra de mano estas limolitas presentan pequeñas estructuras esféricas, pero aún en lámina delgada no es posible precisar si corresponden a estructuras sedimentarias o restos fósiles. En las láminas No. 28 y 28-1 se pueden observar microintercalaciones de bandas de cuarzo afanítico de color blanco, con bandas rojizas compuestas por biotita parda de neoformación (?) en diminutas laminillas. El metamorfismo que presentan es de bajo grado, representado por una leve recristalización y formación de biotita.

Se plantean dos hipótesis para situar la posición estratigráfica de esta unidad :

- A.- Que sea parte de la Fm. Mina México atribuida al permo-triásico en base a su similitud litológica, ya que ambas se encuentran formadas básicamente por limolitas verdes con estratificación fina con pequeños estratos de areniscas de grano fino.
- B.- Que sea la unidad sedimentaria más antigua del área, es decir, anterior a la Fm. Las Tierras . En base a similitud litológica con formaciones descritas en la sierra de Cobachí y en los alrededores de Mazatán atribuidas al Ordovícico - Devónico, donde se encuentra lutitas silíceas con radiolarios (ver Marco Geológico - Contexto Petroológico) ; también por su relación con los mármoles de la Fm. Las Tierras y carencia de las formaciones anteriores a la Fm. Mina México.

## 2) Rocas Igneas.

### a) Rocas Plutónicas.

En este inciso agrupamos a las rocas ígneas de grano grueso que afloran aproximadamente en una tercera parte de nuestra área.

Es posible distinguir dos grupos principales : uno "granítico" representado por granitos, granodioritas y tonalitas con facies aplíticas y pegmatíticas relacionadas. Otro constituido por rocas máficas que muestran una gran variedad textural y composicional.

La distinción de estos grupos está basada en criterios macroscópicos reforzados por estudios petrográficos en láminas delgadas, en base a las cuales, tomando en cuenta los porcentajes relativos de los minerales esenciales se hizo su clasificación (Diag. 1). También se incluyen aquí, rocas esquistosas con una foliación bien marcada, puesto que parecen guardar una relación genética con las rocas graníticas, no obstante que dicha relación no es concluyente.

### a.1) Rocas Graníticas.

Ocurrencia. Afloran en gran parte en el semigraben del río Yaqui, en los alrededores del Torreoncito como una franja angosta extendida de este a oeste y en la porción NE del área. Estas tres zonas en base a las características morfológicas y petrográficas se consideran como parte de una sola unidad intrusiva, que presenta por lo tanto, dimensiones batolíticas. Su anchura estimada a lo largo de la carretera a Bacanora, es de 15 km. aunque se halla interrumpida por

unidades metasedimentarias. En las cartas geológicas del INEGI 1:250 000 se -- puede observar una longitud mayor de 40 km., cubriendo entonces una superficie cercana a los 600 km<sup>2</sup> (fig. 5).

Ocurre como cerros de poca elevación y en valles más o menos planos, algunas veces presenta francos escarpes producto de fallamiento. La erosión afecta fuertemente a este tipo de rocas en ocasiones convirtiéndolas a suelo, el cual está provisto de extensa vegetación arbustiva.

En la zona occidental puede apreciarse un aumento progresivo de elevación de oeste a este, acentuado por la existencia de fallas normales con rumbo NW-SE. Sus contactos tienen contornos irregulares, notablemente presenta apófisis intrusivas como en la mina Los Nachos de San Pedro. (Ver fig. 19).

Tiene xenolitos de rocas calcáreas a las cuales a metamorfozadas y metasomatizadas completamente, así como xenolitos de rocas máficas ricas en biotita a las que ha metamorfozadas retrógradamente.

Litología. Granitos: son las rocas más comunes, leucócratas, de grano fino a medio, localmente con grandes fenocristales de feldespato potásico. Están -- formados por cuarzo, ortoclasa, biotita, plagioclasa. Microscópicamente los minerales son: Feldespato potásico (ortoclasa principalmente y microclina), cuarzo y plagioclasa sódica (andesina-oligoclasa). Siempre tienen algo de biotita, más raramente anfíboles como hornblenda o actinolita. Como accesorios comunes esfena, apatito, circón y minerales opacos siempre presentes. (Foto 7)

Presentan una gama de reacciones y alteraciones desde las últimas de post-consolidación como mirmequitas, alteraciones potásicas y albitización, alteraciones neumatolíticas como turmalinización e hidrotermales como propilitización saussuritización, silicificación e hidroxilación en forma de vetillas de sílice y calcita. (Tabla 4).

En cuanto a las zonas de fenocristales de feldespatos potásicos, Williams et al (1983) sugieren que se forman por alteración metasomática de los primeros constituyentes.

Granodioritas: son rocas de grano medio a fino, generalmente leucócratas a mesócratas. Se encuentran siempre muy cerca de los contactos con la roca encajonante, lo cual sugiere un cambio de composición en el granito debido a contaminación por asimilación de la roca encajonante (Williams et al, 1983) .

En muestra de mano se reconocen mineralógicamente cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita, anfíboles y epidota, con una textura granular. Son generalmente más oscuras que los granitos y sus contactos son ambiguos o poco claros salvo en la terminación al este de la sierra el Batamote, donde se ve una granodiorita (lám. No. 37) que intrusióna rocas esquistosas y al granito y -

que tiene muy poca alteración en relación con éste.



FOTO 7.- Granito (Lám. No. 31) con cuarzo, ortoclasa, oligoclasa, biotita, hornblenda, min. opacos, esfena. C. Peyote. (4X)

FOTO 8.- Granodiorita (Lám. No. 35) con hornblenda, biotita, plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y apatito C. Las Chivas. (4X)

Microscópicamente, predomina la plagioclasa andesina, siguiendo el cuarzo, los feldespatos potásicos son ortoclasa y microclina, con presencia constante de biotita y hornblenda. Como accesorios son comunes la esfena y el circón. En ocasiones hay granate bien cristalizado que sugiere circulación metasomática durante la consolidación del magma. Son comunes también los intercrecimientos mirmequíticos de una reacción de postconsolidación en el borde de las cúpulas graníticas. La alteración es predominantemente de saussuritización con epi-calc-czo-ser-clo (Tabla 5). Indica una fuerte circulación de fluidos (Foto 8).

a.2) Aplitas, Pegmatitas y Vetas de cuarzo.

Aplitas.- Forman pequeñas colinas sobresaliendo del granito. Al igual que las pegmatitas es común encontrarlas cortando a las rocas graníticas, diques andesíticos y las formaciones Las Tierras y Chubisco. Son rocas leucócratas de grano fino con textura hipidiomórfica, su espesor raramente sobrepasa un metro.

TABLA 4

GRANITOS

Lámina	No. 1	No. L-29	No. 31	No. 33	No. 37
Mineral	Cuarzo 26 % Ortoclasa 39 % Andesina An38 24 % Biotita 8 %	Cuarzo 43 % Ortoclasa 37 % Plagioclasa 16 % Biotita 2 %	Cuarzo 34 % Ortoclasa y microclina 38 % Oligoclasa 21 % Biotita 3 % Hornblenda 3 %	Cuarzo 25 % Ortoclasa 35 % Andesina An40 30 % Actinolita 5 %	Cuarzo 20 % Ortoclasa 25 % Oligoclasa 30 % Biotita 15 %
Accesorios.	Esfena 1 % Minerales opacos Apatito 1 % Circón	Esfena 1 % Minerales opacos 1 %	Esfena 1 %	Esfena 1 % Minerales opacos 2 % Biotita 1 % Hiperstena ? 1 %	Esfena 1 % Minerales opacos 4 % Apatito 1 % Hornblenda 3 %
Secundarios	Turmalina Sericitita Penina Epidota Calcita en vetillas Cuarzo en vetillas	Muscovita Caolín Penina Epidota (clinozois + pistach) Calcita Cuarzo en vetillas	Caolín Sericitita Clorita Epidota Cuarzo	Sericitita Clorita Cuarzo	Clorita-penina Epidota - clinozoisita Cuarzo
Alteración	Alteración potásica Saussuritización Turmalinización	Alteración potásica Saussuritización Oxidación	Alteración potásica Saussuritización Silicificación	Sericitización Cloritización Silicificación	Cloritización Silicificación
Textura	Hipidiomórfica granular Granito	Xenomórfica granular Aplita de compos. granítica	Xenomórfica (grano medio) Granito	hipidiomórfica Granito	Xenomórfica (grano fino) Granito
Observaciones.	Ha presentado las sig. alteraciones: deutérica: incremento y desarrollo de ortoclasa (a partir de la plagioclasa) pneumatolítica: turmalina, sílice y min. opacos. hidrotermal: saussuritización introducción de sílice y calcita ?	La plagioclasa está muy alterada, no se puede determinar. Muestra las mismas alteraciones que la muestra anterior.	Esfena bien cristalizada Biotita en inclusiones dentro de la microclina. Reacciones magnéticas de consolidación: mirmequitas y perlititas.	Inclusiones de minerales opacos dentro del anfibol. Esfena y clorita asociadas; posiblemente se formó la esfena a partir de la cloritización de la biotita.	Zonas silicificadas con talitos de plagioclasa, despató K. y biotita.

TABLA 5  
GRANODIORITAS Y TONALITAS

	No. 15	No. 35	No. 45	No. 42
Composición general.	Cuarzo 18 % Microclina - Ortoclasa 18 % Plagioclasa 36 % Biotita 11 % Hornblenda 9 %	Cuarzo 22 % Ortoclasa 12 % Plagioclasa 44 % Biotita 11 % Hornblenda 6 %	Cuarzo 24 % Ortoclasa 5 % Andesina 22 % Biotita 18 % Hornblenda 24 %	Cuarzo 27 % Ortoclasa 27 % (microclina) Plagioclasa 46 %
Accesorios	Esfena 1 % Circón Min. opacos	Esfena Circón 1 % Min. opacos 1 %	Esfena Apatito Granate 2 % Min. opacos	Esfena Circón Granate Min. opacos Augita (?)
Composición secundaria.	Epidota + cuarzo + clorita a partir de la Bío. y FK Sericitita	Cuarzo de relleno Sericitita Clorita	Calcita (de relleno y alt.) Epidota Turmalina Penina Sericitita	Clorita-Penina Calcita Epidota Sericitita
Alteración	Saussuritización: Epidota + cuarzo + clorita + sericitita	Alteración deutérica, cloritización, sericitización. Introducción de sílice.	Saussuritización: penina + sericitita + epi + calc. a partir de anfíbol, Feld. y Biotita.	Misma alteración deutérica.
Naturaleza	Hipidiomórfica	Hipidiomórfica	Hipidiomórfica	Xenomórfica
Entorno	Granodiorita	Monzonita de Cuarzo Granodiorita	Tonalita	Granodiorita
Observaciones	Mirmequita que indica ajustes en las etapas finales de consolidación, indicado también por feldespatos zonados. Esfena muy bien cristalizada. Min. opacos asociados a los ferromagnesianos	Se encuentra intrusando a rocas esquistosas y al granito. La alteración no es muy marcada.	Esta roca es cortada por una vetilla aplítica visible en lámina. Cuarzo en intercrecimiento con feldespatos y rodeando los cristales de esfena y granate, que puede indicar contaminación por asimilación de calizas con las que está en contacto.	Mirmequitas de cuarzo-ortoclasa; granate bien cristalizado en los cristales microclina. Fracturación por la extrusión de un andesítico.

su composición microscópica se aprecia en la lám. No. 45. Consta de cristales grandes de microclina, ortoclasa, cuarzo y algunas plagioclasas (oligoclasa). Muestra leve asimilación de la roca encajonante que es una granodiorita de grano medio (Tabla 5).

Pegmatitas.- Se encuentran como diques cortando a rocas graníticas y rocas carbonatadas de la Fm. Las Tierras. Existen algunos tipos mineralógicos, los más comunes formados por cuarzo, plagioclasa, feldespatos potásico, biotita y/o flogopita, muscovita, en ocasiones con granate (cuando cortan a rocas carbonatadas), scheelita y sulfuros como pirita y bornita. Existen variedades de pegmatitas que presentan un intercrecimiento gráfico entre cuarzo y ortoclasa, indicando una cristalización simultánea (Foto 22).

Otro tipo que corta principalmente a las rocas esquistosas están compuestas por cuarzo, feldespatos potásico, muscovita y turmalina.

Existen bolsas pegmatíticas de cuarzo-epidota limitadas a las zonas de los contactos entre los intrusivos y la roca encajonante. Los cristales de epidota alcanzan los 5 cm. de longitud. El espesor máximo de éstas es un metro.

Vetas de cuarzo.- Son muy comunes en el área. Representan las últimas etapas de hidrotermalismo. Como ejemplo notable, existe un dique de más de 50 m. de espesor localizado en el cerro Peyote que buza al este, formado de cuarzo lechoso con pequeñas zonas de muscovita. Este gran dique se emplaza posiblemente a favor de una zona de fractura previa. Sulfuros como pirita, molibdenita y calcopirita están relacionados a estos diques, pero no es posible precisar si sólo se trata de una removilización.

Edad de las rocas graníticas. Estratigráficamente sólo es posible definir que intrusionan a rocas del Paleozoico superior-Triásico?, además de metamorfozizar una unidad volcánica cuya relación con estas rocas no es bien definida. No afecta a rocas volcánicas atribuidas al Oligoceno.

Para tratar de establecer una edad más precisa es necesario extrapolar de las localidades donde hayan sido fechadas rocas similares y que se encuentran cercanas al sector estudiado. Una de ellas se localiza cerca de Rebeico, donde se establece una edad de  $61.2 \pm 1.4$  m.a. para una monzonita (Damon et al, 1983). Este sitio se encuentra en las coordenadas  $28^{\circ} 53' 06''$  N y  $109^{\circ} 48' 54''$  W aproximadamente 14 Km. al oeste del área. También en San Antonio de la Huerta situado a 16.5 Km. al sur del área fué fechada una microdiorita por matriz en  $57.4 \pm 1.4$  m.a. (Damon et al, 1983) en las coordenadas  $28^{\circ} 36' 03''$  N y  $109^{\circ} 53' 18''$  W. En base a la relativa cercanía de estas localidades y a lo conspicuo -

1942  
 EL SABER DE MIS HIJOS  
 HARA MI GRANDEZA  
 BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
 EXACTAS Y NATURALES

de estas rocas en el Estado, no es ambiguo considerarlas como de la edad Cretácico superior - Paleoceno para estas rocas graníticas, a reserva de una determinación isotópica más precisa.

a.3.) Rocas Intermedias a Básicas.

Se trata de rocas que varían texturalmente de grano fino hasta muy grueso y cuyo índice de coloración va de mesócrata hasta hipermelanócrata .

Se localizan principalmente en el semigraben del río Yaqui, en afloramientos aislados. Afloran en los cerros Peyote, a lo largo de los arroyos la Hoya, el Chiquelito y en la mina La Norteña. En la primera localidad citada se trata de un cuerpo de contornos irregulares con una amplitud aproximada de 120 m., en el cual se distingue macroscópicamente una variación textural lateral y composicional. Se encuentran intrusionadas por diques graníticos y en contacto estructural con lutitas silíceas mencionadas en el inciso e) de las rocas sedimentarias. Su relación con las rocas carbonatadas no es clara pues entre ambas existe un dique básico (Fig. 7).

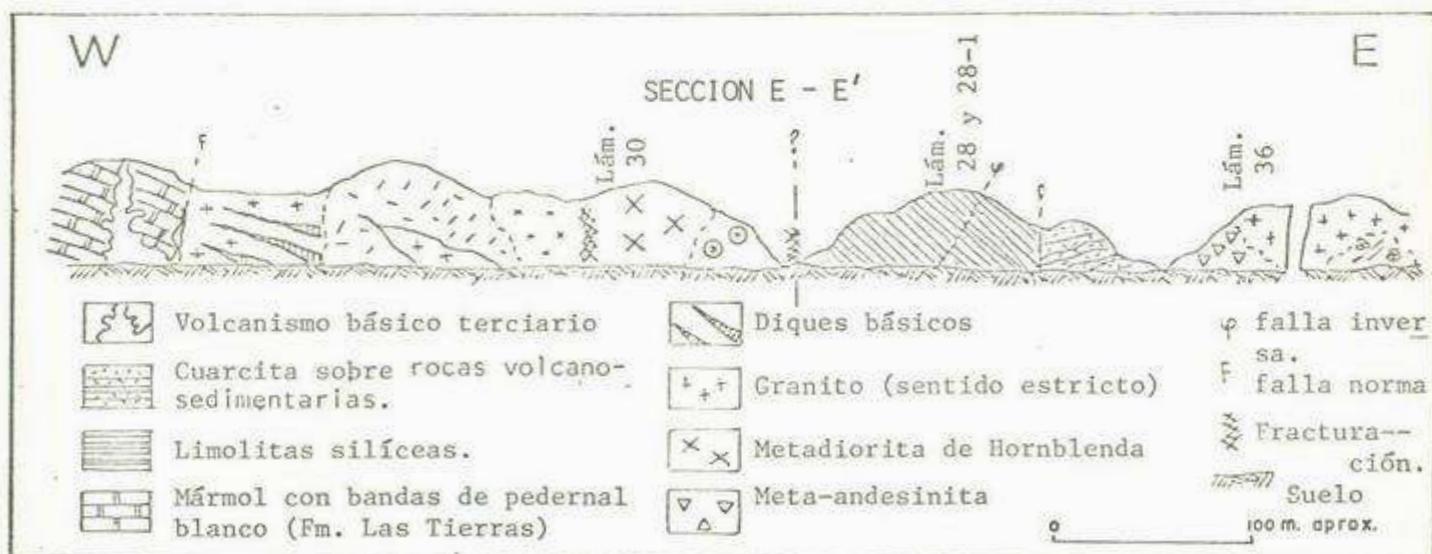


FIG. 7.- RELACIONES ENTRE ROCAS PLUTONICAS BASICAS - ACIDAS - METASEDIMENTARIAS.

Otra localidad, en el arroyo el Chiquelito presenta una gran variedad textural (Foto 9). Existen zonas pegmatíticas con desarrollo de grandes cristales de hornblenda y plagioclasa, una intensa fracturación rellena por diques félsicos y máficos, de grano fino a grueso (Foto 10).

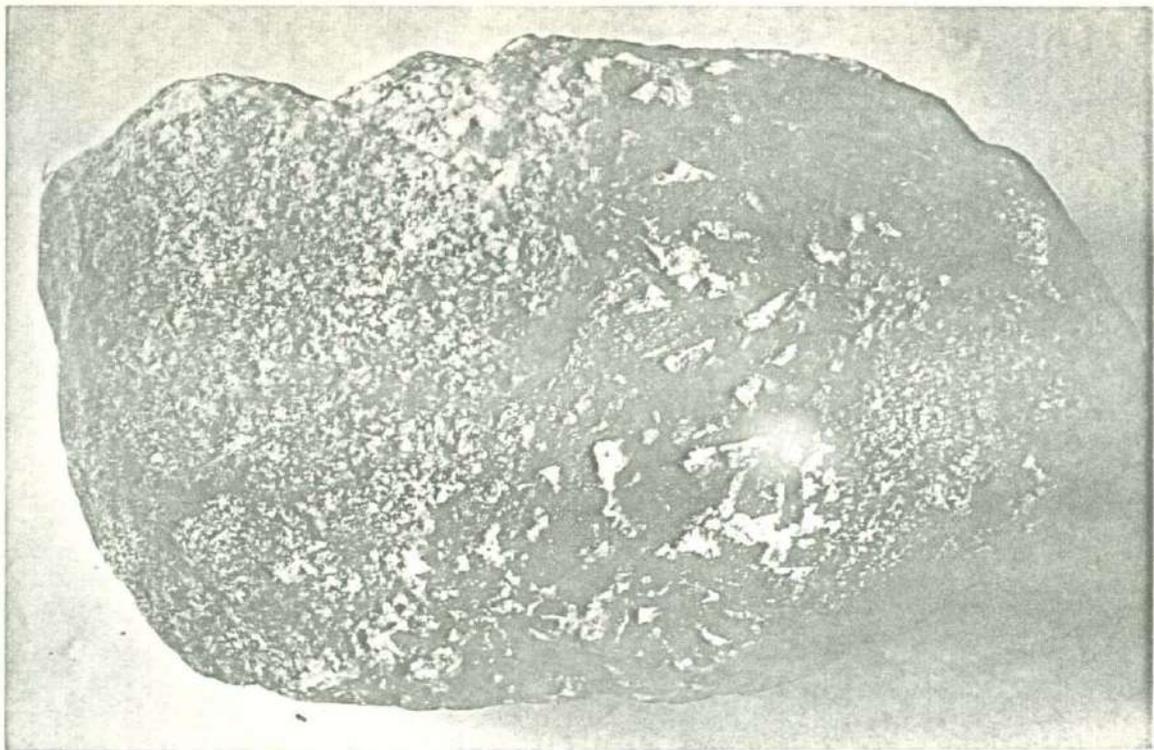


Foto 9.- Variaciones texturales en una diorita de hornblenda compuesta principalmente de plagioclasa (blanco) y fenocristales de hornblenda con zonas pegmatíticas. (Arroyo el Chiquelito).

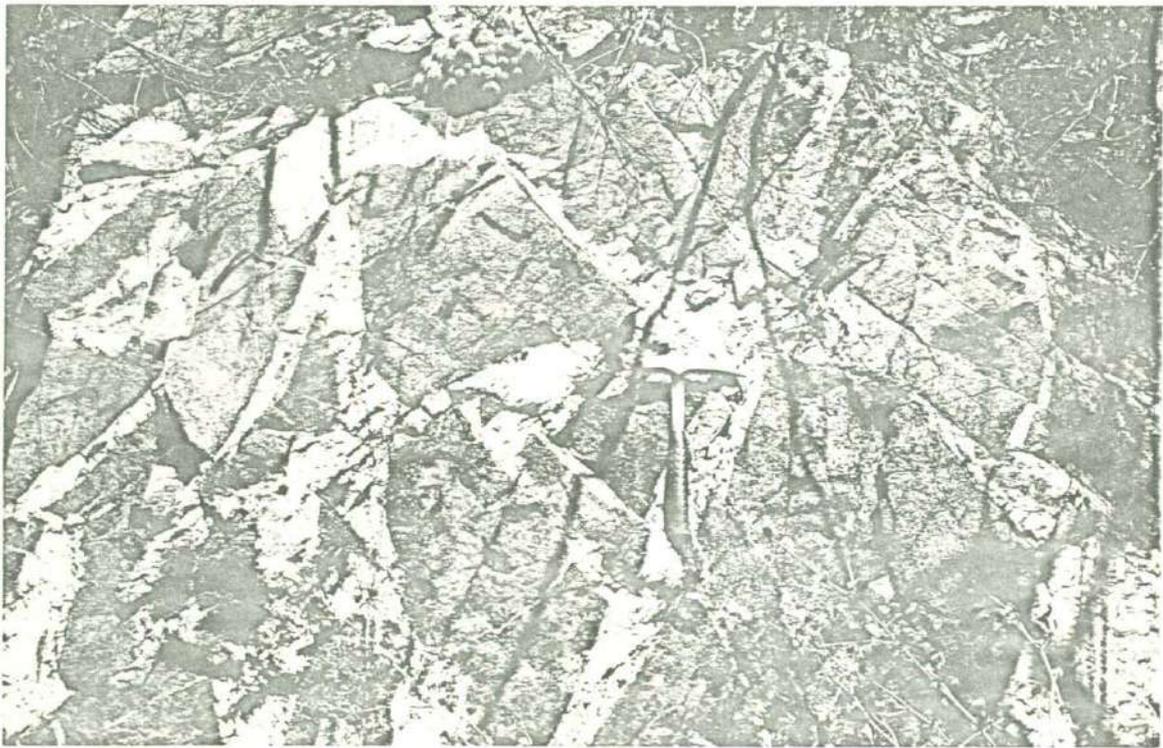


Foto 10.- Fragmentos brechificados de diorita oscura de grano medio, imbuidos en vetas aplíticas-graníticas que la cortan en todas direcciones. (Arroyo el Chiquelito).

La zona máfica morfológicamente parece constituir un enclave o xenolito dentro del granito normal de grano medio. En el C. Las Agujitas afloran igualmente rodeadas por el granito, formadas por plagioclasa y anfíbol, con una marcada lineación de éstos últimos.

A escala métrica existen xenolitos máficos dentro del granito, son de grano grueso, donde las micas (biotita) son abundantes. No es posible hasta el momento precisar si estas rocas representan un solo tronco intrusivo (stock), que fué posteriormente asimilado en forma parcial, por rocas más ácidas en composición o si se trata de varias intrusiones de magnitud relativamente menor.

La mayor parte de las láminas estudiadas, están formadas por un anfíbol verde a verde-azul (hornblenda-actinolita) y una plagioclasa andesina  $An_{33-40}$ , en proporciones variables (Tabla 6). El anfíbol aparece en fenocristales raramente maclado, en ocasiones presenta un borde de reacción hacia un anfíbol más cálcico de tipo actinolita (lám. No. 56, 30 y 54) lo cual refleja cambios composicionales durante la cristalización que quizás sean debidos a contaminación (Fig. 8 A y C). La plagioclasa es subautomorfa, tabular, con el maclado complejo de albíta y carlsbad, en ocasiones zoneadas, sin embargo, algunas plagioclasas muestran deformación (maclas curvadas, Fig. 8 A), pérdida de maclado y son xenomorfas. Es notable la carencia de cuarzo en todas las láminas observadas.

Los accesorios más comunes son el apatito y la esfena. El primero automorfo, en inclusiones de los minerales primarios; el segundo, cristalizando a partir de la ilmenita (?) o de manera más tardía, a partir del titanio libre cuando la clorita reemplaza a la biotita. Minerales de hierro (pirita, magnetita) están siempre presentes, generalmente en relación con los ferromagnesianos biotita, hornblenda o con la esfena. A veces se hallan rodeados de epidota, lo cual indica un estadio más tardío de formación, o en aureolas dentro de los anfíboles que refleja una cristalización contemporánea con éstos, en un estadio temprano de cristalización.

La epidota en sus variedades pistachita y clinozoisita son muy comunes, lo mismo que la muscovita (margarita raramente) formándose a partir de las plagioclasas y en ocasiones de la biotita y la hornblenda (Fig. 8 C). Estos tres minerales pueden formarse por metamorfismo de contacto o regional de bajo grado, por alteración deutérica y son comunes también en la alteración hidrotermal que cataliza el metamorfismo retrógrado de ciertos minerales primarios, reflejando el proceso llamado saussuritización (Williams et al, 1983).

Por una parte existen minerales como la wollastonita (Fig. 8 D) y la acti-

nolita, que son típicos, principalmente la primera, del metamorfismo de contacto de grado medio; por otra parte, es común la cloritización total de la biotita y parcial de la hornblenda, que según Williams es un proceso de alteración deutérica. Por último la alteración hidrotermal es también común, presente como sericitización y vetillas de calcita, clorita y cuarzo.

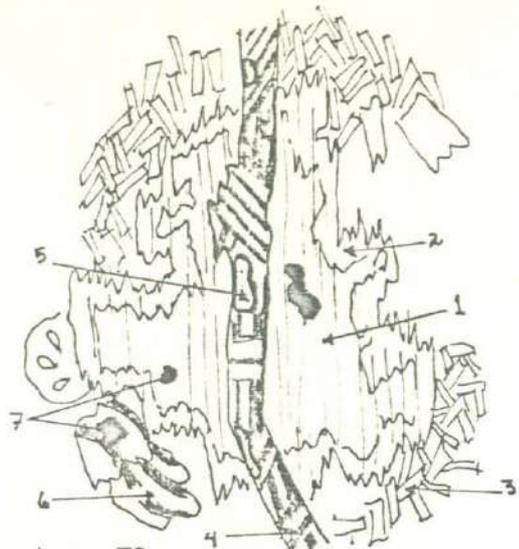
Todos estos cambios, culminando con la feldespatización, presente en estas rocas como crecimiento de feldespatos potásicos, raras vetillas de albita-esfena-clorita (Fig. 8 A), pueden deberse a una alteración progresiva producida por la intrusión de granito en una roca básica (diorita) lo cual es confirmado por las relaciones de campo y la existencia de xenolitos máficos en el granito. Además, la constante presencia de esfena en los granitos, puede indicar una contaminación por asimilación de rocas básicas (Williams et al 1983).

Las dioritas según Whitten (1980) son rocas bastante poco comunes que se encuentran generalmente como facies marginales de los grandes plutones granodioríticos, más raramente de gabros o sienitas, o como troncos y apófisis. Muchas dioritas son de origen híbrido, formadas por asimilación siálica de un magma básico o por la contaminación de un magma ácido por la digestión de rocas más básicas (Williams et al, 1983). Los mismos autores señalan que en los contornos granito-caliza, el granito puede llegar a ser diorítico.

Según hemos visto, la evidencia petrográfica señala la existencia de una serie continua que comprende desde granitos granodiorita-tonalita, la diorita es la siguiente facies de esta serie. Pueden tratarse de las primeras intrusiones de un batolito, que son normalmente más básicas y ricas en hornblenda, que han sido progresivamente alteradas e incluso metamorfizadas por facies más ácidas posteriores. La carencia de cuarzo señala igualmente hacia una composición básica del magma original.

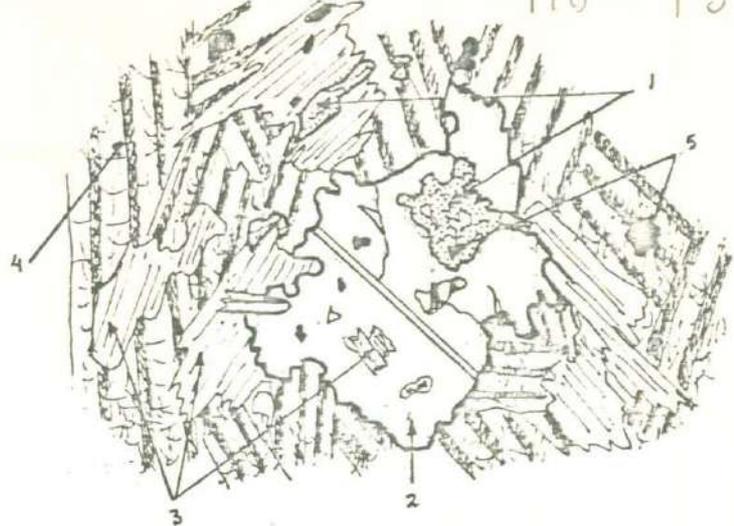
Según Damon et al (1983) el batolito Laramide de Sonora no presenta grandes variaciones, cambiando petrográficamente de granodioritas a monzonitas de cuarzo y granito. Otros autores señalan además tonalitas, adamellitas y raros gabros (Gastil y Krummenacher, 1977; Rangin, 1982). Peabody (1979) señala la existencia de una microdiorita intrusiva en el batolito de Aconchi, el cual ha sido datado de 57 m. a. (Anderson, Silver, Salas, 1980) aunque la edad de la microdiorita es incierta y sus relaciones con el granito no son muy claras.

Fuera del semigraben, solo en el C. Los Toneles se han encontrado rocas de composición similar. A estas rocas corresponden las láminas No. 47 y 50. La primera es una roca fanerítica, mesócrata, con fenocristales visibles de hornblenda. Microscópicamente se diferencia de las rocas antes descritas, en que -



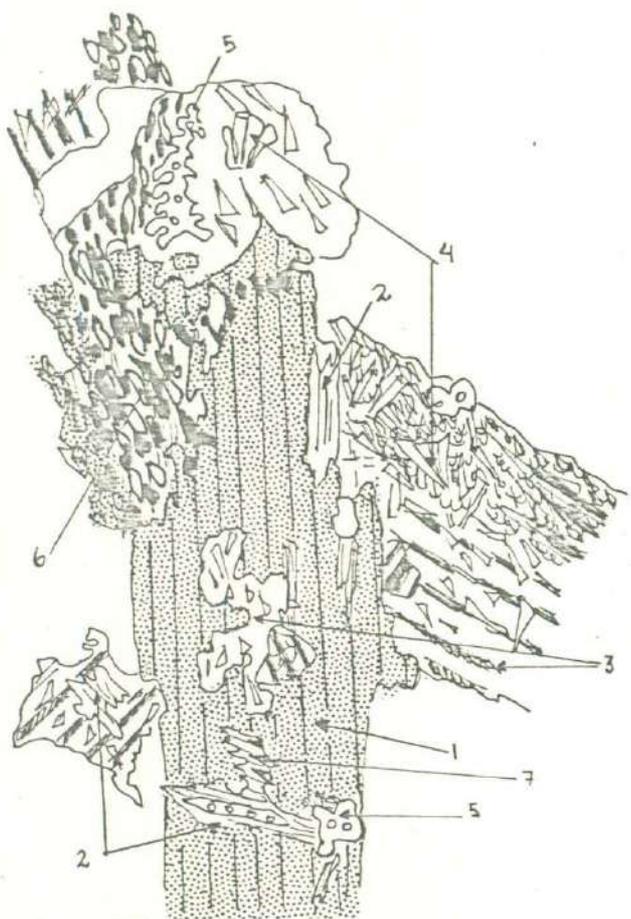
A.- LAM. 30

- 1.- Hornblenda
- 2.- Actinolita
- 3.- Hornblenda y biotita
- 4.- Albita
- 5.- Esfena
- 6.- Plagioclasa
- 7.- Min. opaco



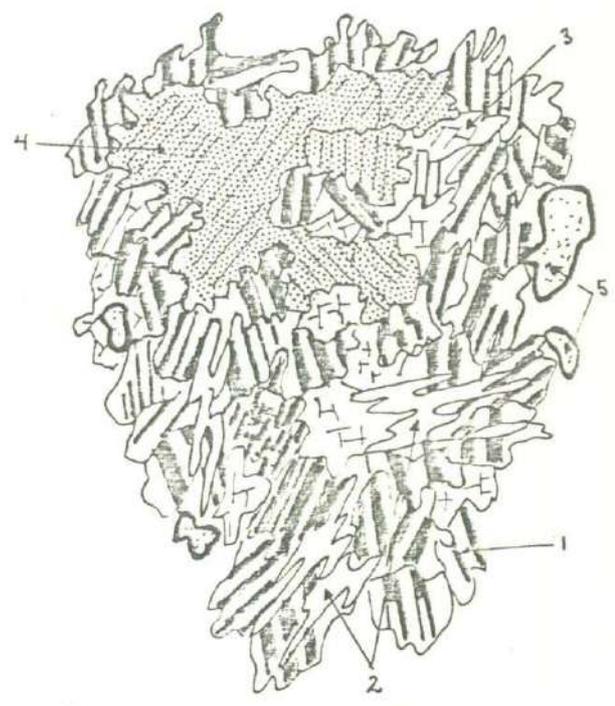
B.- LAM. 47

- 1.- Augita (titanífera)
- 2.- Hornblenda
- 3.- Biotita
- 4.- Plagioclasa
- 5.- Min. opaco (pirita)



C.- LAM. 56

- 1.- Hornblenda Actinolita
- 2.- Biotita
- 3.- Plagioclasa
- 4.- Margarita (?)
- 5.- Clinzoisita
- 6.- Esfena, ilmenita
- 7.- Esfena de la biotita



D.- LAM. 36

- 1.- Plagioclasa
- 2.- Wollastonita
- 3.- Ortoclasa
- 4.- Clinzoisita
- 5.- Esfena

FIG. 8.- CAS MAFICAS.

TABLA 6

ROCAS PLUTÓNICAS INTERMEDIAS A BÁSICAS

Categoría	No. 56	No. 57	No. 52	No. 54
Composición mineralógica.	Hornblenda - Actinolita 31% Andesina An40 22%	Hornblenda verde azul 30% Andesina An36 60%	Hornblenda verde 56% Andesina An38 30%	Hornblenda verde 75% Plagioclasa 10%
Accesorios.	Margarita o muscovita 22% Clinozoisita 19% Pistachita	Muscovita 1% Clinozoisita 2% Pistachita 1%	Muscovita 2% Clinozoisita 1% Pistachita 3%	Clinozoisita Pistachita
Secundarios.	Ortoclasa 1½% biotita 2% Apatito ½% Esfena 1% Min. opacos (pirita) 1%	Ortoclasa ½% Apatito Esfena Min. opacos 3%	Ortoclasa 2% Clorita 2% Apatito ½% Esfena 2% Min. opacos ½%	Diópsida Apatito Min. opacos
Evolución.	Clorita a partir de la biotita dando esfena Sericitiza de la plagioclasa	Penina a partir de la biotita Sericitiza de la plagioclasa	Clorita sericitiza	Sericitiza
Alteración.	Cloritización Sericitización	Igual que la anterior	Cloritización de los ferromagnesianos y sericitización. Feldespatización	Feldespatización
Textura.	Panidiomórfica de grano grueso.	Hipidiomórfica de grano grueso	Hipidiomórfica de grano grueso	Hipidiomórfica de grano grueso
Nombre.	Diorita de Hornblenda	Diorita de Hornblenda	Diorita de Hornblenda	Meladiorita de Hornblenda
Observaciones.	Los minerales de epidota y las micas presentes en estas rocas, pueden haberse formado por alteración deutérica, al proceso hidrotermal en un proceso llamado saussuritización o por metamorfismo regional de bajo grado. (Turner et. al. 1983)	Minerales opacos como inclusiones de la hornblenda, también se hallan rodeados por esfena y penina.	Plagioclasas zoneadas a veces con maclas borradas. La esfena tiene inclusiones de opacos (ilmenita?). Feldespatización de las plagioclasas también representada por vetillas de FK.	Grandes cristales de hornblenda con muchas inclusiones de piroxeno, epidotapato, min. opacos; cual semeja una textura poikilitica.

No. 30	no. 36	No. 47	No. 50
<p>hornblenda - Actinolita 46%            plagioclasa 2%            otros fenocristales en una            pasta formada por cristallitos            de biotita y hornblenda 33%            clinzoisita            epidotita 1%</p>	<p>Andesina An33 75%              Clinzoisita 3%            Wollastonita 15%</p>	<p>Plagioclasa Andesina-Labra            65%            Augita (titanifera) 13%            Hornblenda café 7%            biotita 10%</p>	<p>Oligoclasa-Andesina An30 80%            Ortoclasa 5%            Hornblenda 3%            Biotita 1%            Cuarzo 5%</p>
<p>esfena 1%            otros opacos (Pi-Magn) 2%</p>	<p>Apatito 2%            Esfena 4%            Min. opacos (magn) 1%</p>	<p>Apatito 1%            circón            Min. opacos 4%</p>	<p>Apatito 1%            Esfena 1%            Min. opacos 1%</p>
<p>clorita            sericita            cuarzo</p>	<p>Clorita            Calcita</p>	<p>Clorita            Sericita            Epidota</p>	<p>Clorita            Pistachita            Clinzoisita</p>
<p>ilicificación; cloritización            pericitización; albitización</p>	<p>Feldespatización; cloritización.            Hidrotermalismo como vetillas de clorita y calcita.</p>	<p>Saussuritización</p>	<p>Alteración deutérica</p>
<p>porfídica con fenocristales            de Horn. y plag. en una pasta            de cristallitos de bio. y Hrn.</p>	<p>Afanítica - xenomórfica</p>	<p>Subofítica de grano medio</p>	<p>Inequibranular            Hipidiomórfica de grano fino.</p>
<p>clorita            hornblenda            y indicios de fuertes presiones como maclas deformadas            cristales triturados.            minerales opacos en aureolas            dentro de los anfíboles.            vetillas de albita + epidotita            esfena.</p>	<p>Meta-andesinita            Parece corresponder a una roca ígnea hipabisal de composición intermedia que a sufre en etapas sucesivas:            Alteración deutérica, feldespatización - cloritización            Metamorfismo de grado medio y por último alteración hidrotermal leve.</p>	<p>Diorita piroxénica o Diabasa            La clasificación se basa en el porcentaje de Anortita de la plagioclasa según el cual se encuentra en el límite entre una diorita y una diabasa (gabro). El nombre de diabasa proviene de la textura de la roca. Hay un reemplazamiento durante la cristalización, del piroxeno por anfíbol y de anfíbol por biotita.</p>	<p>Leucodiorita            Al parecer esta roca tuvo una cristalización en diferentes etapas reflejada en el tamaño desigual del grano.</p>

el contenido de anortita de su plagioclasa es mayor; la presencia de titanogaugita como ferromagnesiano dominante -mientras que en las anteriores no aparece- y por su textura subofítica con cristales de piroxeno y anfíbol, intercreciendo - con láminas tabulares de plagioclasa (Fig. 8 B).

La plagioclasa según promedio de la macla de albita es  $An_{50}$  situada en el límite de andesina-labradorita y según la macla combinada albita-carlsbad corresponde a una labradorita con  $An_{60}$ . Cambios de composición de este tipo pueden presentarse en estas rocas Williams (1983). Se presenta en cristales automorfos a veces zonados y con extinción oscilante, que son otra prueba de dichos cambios. La cantidad de plagioclasa y su composición más cálcica, indican una -- cristalización anterior a los ferromagnesianos. Parece presentar además feldspatización y silicificación, con alteración a sericita y clorita.

Además de la augita en fenocristales y en cristalitos, hay fenocristales - de hornblenda y biotita, aquella reaccionando a partir de los piroxenos y la última a partir del anfíbol (Fig. 8 B).

Atendiendo la clasificación de Streckeisen en base al contenido de anortita de la plagioclasa, esta roca corresponde a una diabasa o a una diorita de piroxeno. En el campo esta roca semeja una variación, un poco más oscura, del granito, entre el cual se encuentra.

La lámina No. 50 fué hecha de una muestra recogida de un dique similar a - los diques aplíticos, resistente a la erosión, de grano fino y leucócrata. En lámina delgada muestra una cristalización en diferentes etapas con textura inequigranular. Su mineralogía muestra predominancia de plagioclasa con  $An_{30}$ , con menores cantidades de cuarzo, ortoclasa, hornblenda y biotita. Presenta alteración a partir del anfíbol en epidota y clorita, lo cual refleja circulación de fluidos posteriormente a su emplazamiento. Se trata entonces de un dique de -- leucodiorita microgranular.

Los datos obtenidos permiten considerar un origen similar a las de las dioritas, pero de una facies y modo de emplazamiento diferentes.

#### a.4) Conclusión de las Rocas Igneas.

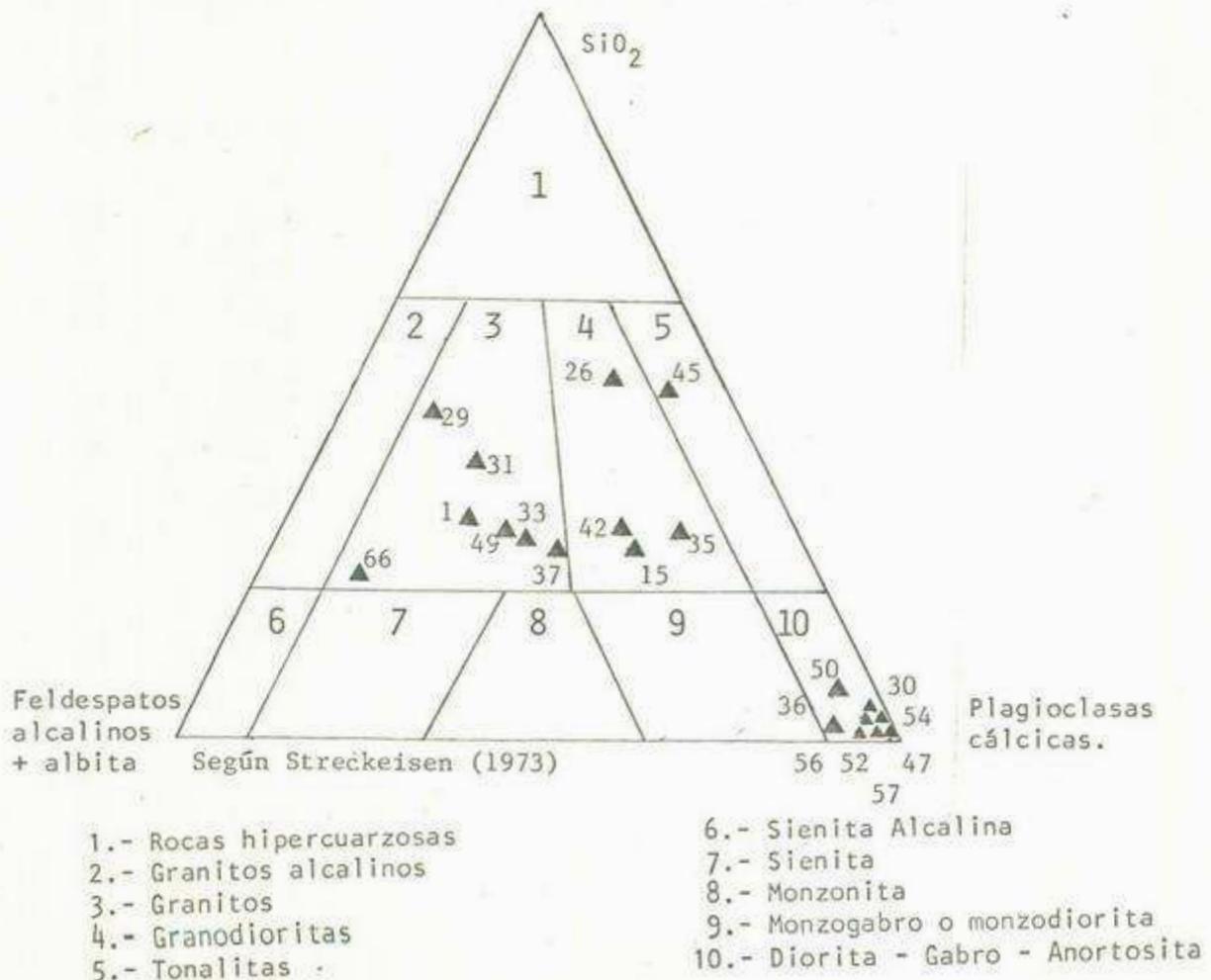
El diag. 1 muestra la clasificación modal de las rocas plutónicas en el área de estudio.

En primer lugar se nota una clara tendencia desde la granodiorita al granito, variando según la línea de las plagioclasas (al centro del diagrama). Las variaciones a la tendencia normal, las muestras Nos. 66, 26 y 45, se han recolectado muy cerca de los contactos con la roca encajonante, donde se han for-

mado skarns mineralizados, ya sea con scheelita o con sulfuros y óxidos, por lo tanto reflejan efectos de alteración (feldespatización) por la fuerte circulación de fluidos de origen magmático a lo largo de los contactos (lám. No. 66) - y/o contaminación por asimilación de la roca carbonatada encajonante (láms. 26 y 45).

Un grupo aparte lo forman las rocas básicas, principalmente dioritas, con variaciones desde hornblenditas (más del 90 % de hornblenda-actinolita) hasta andesinitas (más del 90 % de plagioclasa andesina) (Fig. 8). Estas rocas se caracterizan por su constitución de hornblenda y plagioclasa, por su carencia de cuarzo y la presencia de minerales de metamorfismo y alteración. Como se ha discutido anteriormente parecen emplazarse a partir de un magma básico, al principio del evento intrusivo y son parcialmente asimiladas y metamorfozadas por las rocas graníticas posteriores.

Volumétricamente las rocas ácidas son las más importantes mientras que las básicas ocupan un volumen relativamente menor aunque importante.



DIAG. 1.- CLASIFICACION DE ROCA PLUTÓNICAS.

## b ) Esquistos.

Son rocas de composición cuarzofeldespática que muestran una marcada foliación. Afloran en una franja de 350 m. de anchura máxima y una longitud de 2 Km, en los flancos orientales de los cerros la Anaconda y los Toneles (Foto 11).

A pesar de varias secciones paralelas realizadas, no fué posible, debido a la fuerte erosión que presentan, distinguir claramente sus contactos. Se localizan entre el granito y las secuencias de corneanas del miembro Toneles, quedando separados de éste por un dique leucodiorítico de grano fino (Figs. 5 y 6 C-C').

Es evidente que han sido intrusionados por rocas granodioríticas, diques graníticos y pegmatíticos con turmalina. La intrusión granítica puede observarse en la lámina No. 34 .

En muestra de mano pueden distinguirse : esquistos semipelíticos y cuarzo-feldespáticos con variaciones graduales. Mientras que en estas rocas la foliación y la lineación de los minerales es clara, en las rocas graníticas, con las cuales está en contacto no existen evidencias de tectonismo, salvo la existencia de fallas inversas de bajo ángulo y fallas normales como se muestra en la foto 18.

Las medidas efectuadas en la esquistosidad indican un rumbo predominante NW 45° SE y un echado promedio de 75° al SW ( ver diagrama 2 ).

En microscopio la lám. No. L-27 presenta un notable bandeamiento mineralógico, donde se alternan bandas de cuarzo-ortoclasa en cristales idio-subidioblásticos de grano fino, con bandas de grano más fino de epidota, cuarzo y ortoclasa. Hay bandas donde la biotita y la hornblenda son más abundantes, aunque en general aparecen en aglomerados acompañadas por turmalina, siendo la epidota el mineral más distribuido (Foto 12).

Hay fenocristales relictos de plagioclasas, alterándose a cuarzo-epidota-arcillas, alineadas en su mayoría en la dirección de las bandas, de igual modo que pequeños cristales de minerales opacos que forman a veces texturas de mortero.

Estas bandas son formadas al parecer por segregación durante el proceso de diferenciación metamórfica, aún no entendido completamente y que se refiere a la concentración local de minerales individuales durante la reconstitución química, influenciada por la difusión de fluidos a lo largo de la trayectoria mínima resistencia ofrecida por superficies "s" de origen mecánico (Williams et al, 1983).

En cuanto a la mineralogía, el cuarzo y los feldespatos suman aproximadamente el 70 % . El feldespato potásico es ortoclasa aunque hay microclina en pequeña proporción con maclado deformado.

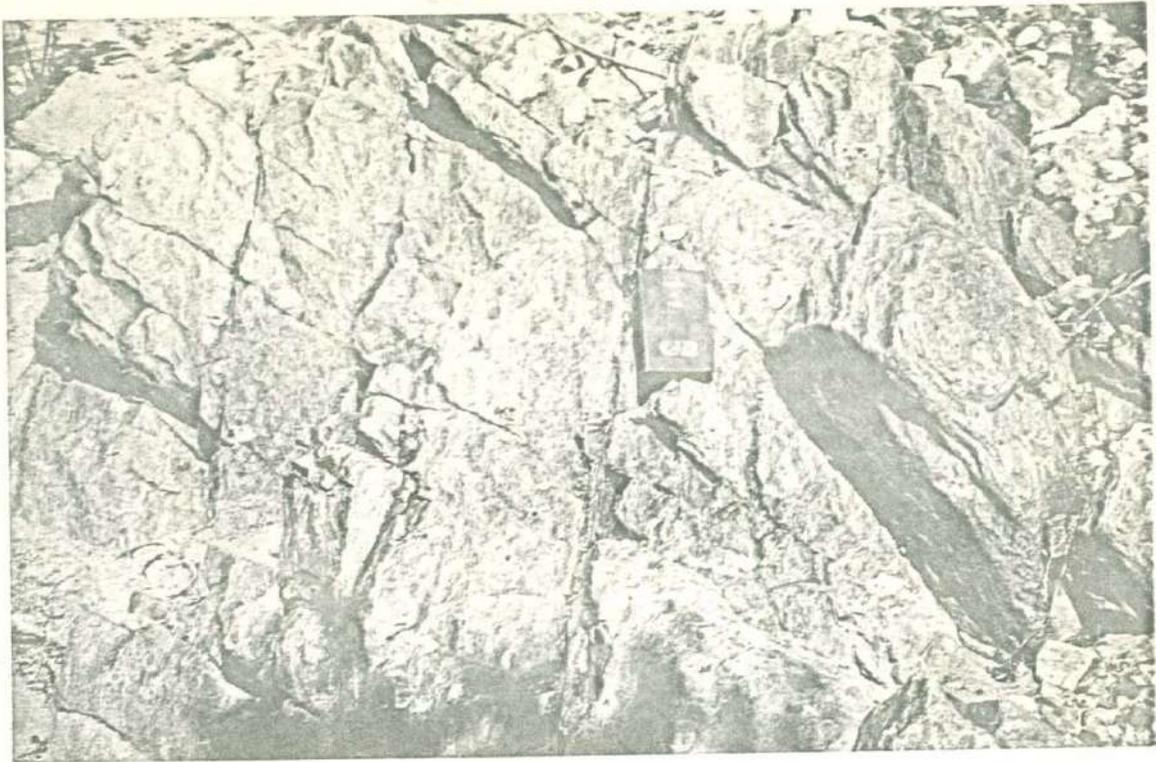
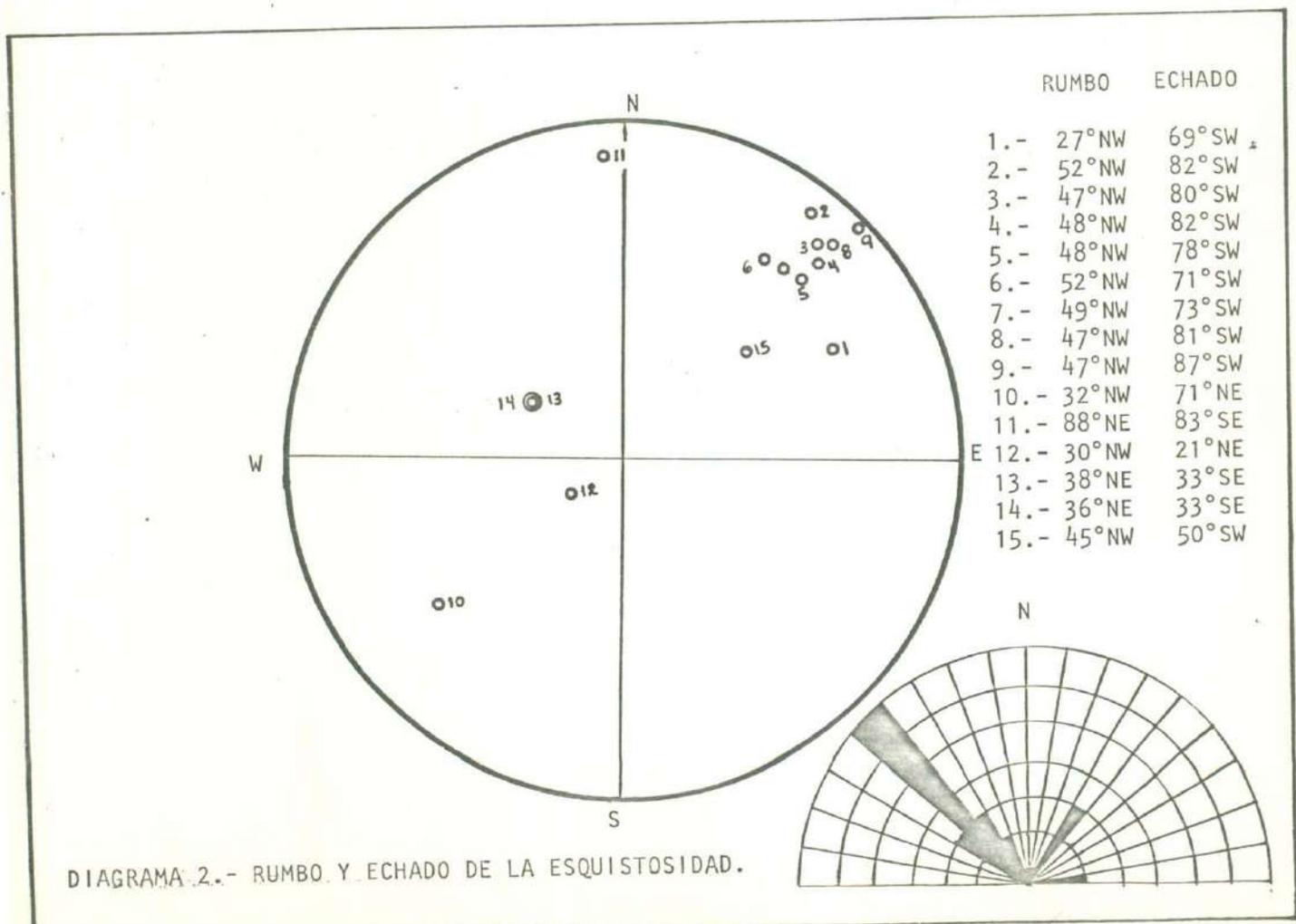
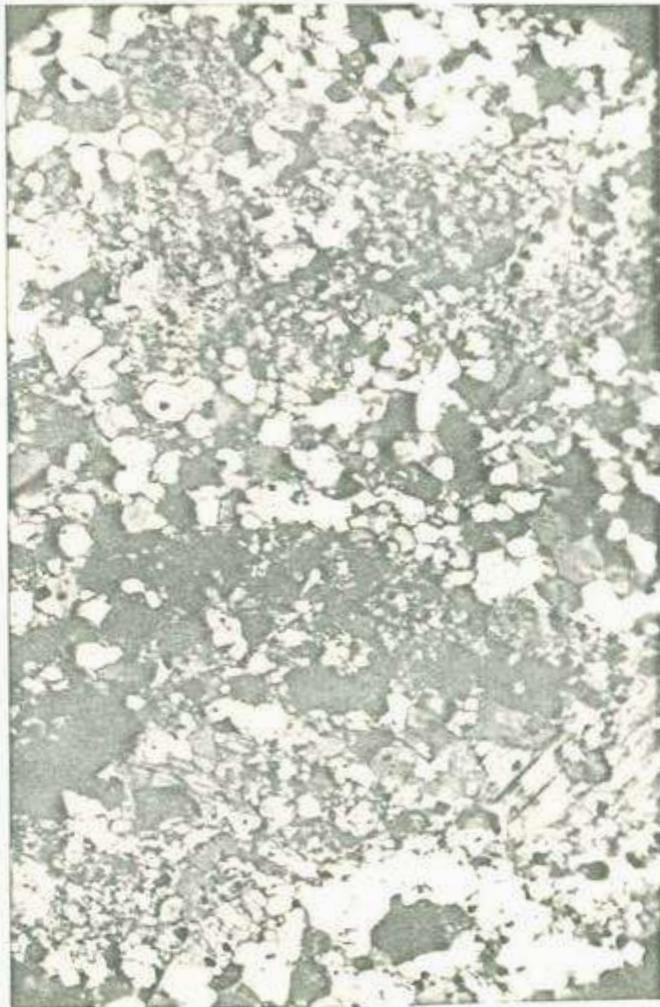


FOTO 11.- Rocas esquistosas con una marcada foliación de R 45° NW y Echado de 50°SW (Arroyo Chubisco, Cerro La Anaconda)



Las plagioclasas (andesina ?) con macla polisintética están como relictos alineados de la roca original . Al parecer existen dos episodios de cristalización de las plagioclasas, los de la primera etapa, se hallan alineados y alterados mientras que los de la segunda, se encuentran en bandas de segregación sin alineación de sus maclas, con alteración leve y de menor tamaño.

Los minerales opacos son de dos tipos, con luz reflejada corresponden a piritita y magnetita (?) y se relacionan con los ferromagnesianos.



Cristales de Cuarzo y ortoclasa de grano fino con porfidoblastos de hornblenda

Cuarzo, epidota y ortoclasa de grano muy fino, con esfena accesoria.

Cuarzo, ortoclasa y hornblenda - de grano fino, con algo de epidota intersticial.

Porfidoblastos de biotita, hornblenda y minerales opacos, con epidota finamente granuda. Cuarzo y ortoclasa en cristales blancos.

Cuarzo y ortoclasa de grano fino con pocos minerales opacos.

Foto 12.- Microfotografía (4X) de un esquistu cuarzofeldespático con bandas mineralógicas, de la lámina No. L-27. (Arroyo el Chubisco, C. Anaconda).

Según algunos autores el porcentaje de cuarzo-feldespato determina la división entre gneis y esquistu (< 20% para los esquistos), pero Winkler (1978) considera que es la fábrica la que determina la clasificación considerando según Wenk (1963) "un esquistu es aquella roca que al golpearse con un martillo

se separa en lascas de 1 a 10 mm. de grosor perfectamente paralelas o en delgados bloques paralelos a la lineación.

En esta roca la foliación viene determinada por la segregación más que por los minerales micáceos; sin embargo cumple en parte con la definición de Wenk.

Según Huang (1968), Williams et al (1983) y Winkler (1978), los esquistos cuarzo-feldespáticos son derivados principalmente de sedimentos arenosos y rocas ígneas silíceas. El tamaño reducido de los granos de cuarzo, la existencia de fenocristales relictos de plagioclasa y la abundancia de ortoclasa indican una roca madre ígnea, ésta pudiera corresponder a una sienita granítica y de cuarzo o sus pórfidos (Huang, 1968), en las rocas estudiadas en el área.

Existen desacuerdos en cuanto a la formación de estas rocas, Huang (1968) propone que son el producto de un metamorfismo de alto grado, pero Williams et al (1983), consideran que la mica y la hornblenda son aparentemente inestables en condiciones de alto grado (facies de granulita), limitándolas a las facies de anfibolita.

La lám. No. 34, muestra una roca intrusiva en un esquisto. La roca intrusiva parece inyectarse a favor de fracturas y tiene una composición de monzonita de cuarzo con bastante alteración hidrotermal y feldespaticización con fenocristales de ortoclasa que envuelven a cristales de hornblenda, biotita, plagioclasa.

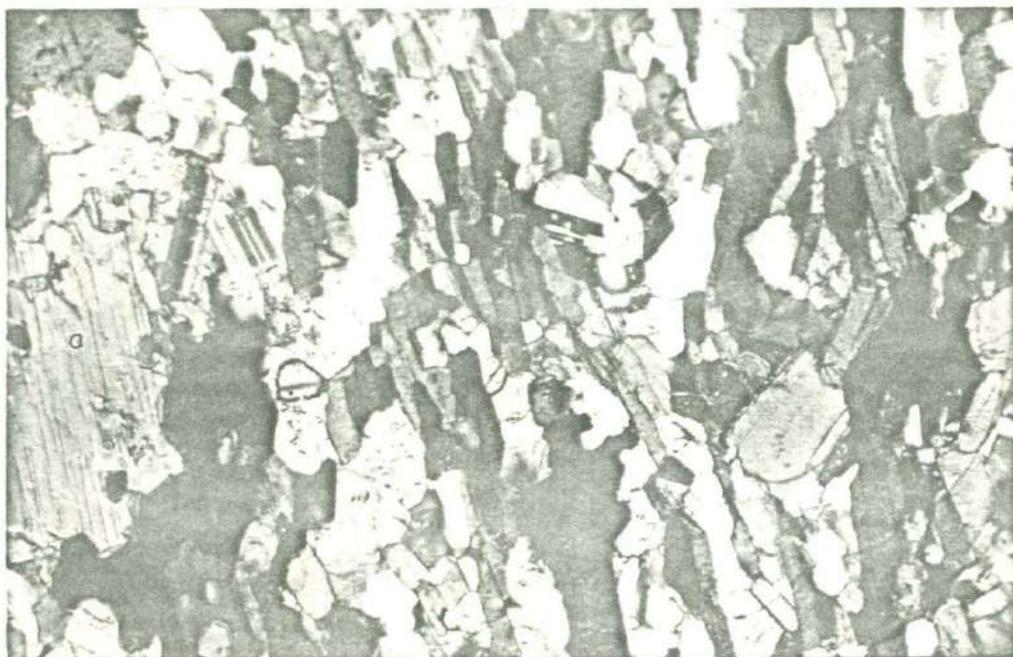


Foto 13.- Lineamiento mineralógico en esquisto de biotita tabular, verde parda con porfidoblastos de hornblenda (a) verde con cristales seudoalineados de plagioclasa y cristales de cuarzo y ortoclasa. Microfotografía lám. 34 (4X) (Cerro Anaconda, arroyo Chubisco).

TABLA 7

ESQUISTOS

Lámina	No. 27	No. 34	Esquistos	No. 34 Intrusivo
Mineral	<p>Cuarzo 42 %</p> <p>Plagioclasa-relictos 5 %</p> <p>Ortoclase 20 %</p> <p>Biotita 5 %</p> <p>Epidota 10 %</p> <p>Hornblenda 6 %</p> <p>Minerales opacos 7 %</p> <p>Circón 1 %</p> <p>Esfena 2 %</p> <p>Turmalina 2 %</p>	<p>Cuarzo 6 %</p> <p>Andesina 35 %</p> <p>Ortoclase 15 %</p> <p>Biotita 40 %</p> <p>Epidota (acc.) 1 %</p> <p>Hornblenda (acc.) 1 %</p> <p>Minerales opacos 1 %</p> <p>Circón 1 %</p> <p>Apatito</p>	<p>Andesina 20 %</p> <p>Ortoclase 25 %</p> <p>Biotita 10 %</p> <p>Epidota (acc.) 1 %</p> <p>Hornblenda 10 %</p> <p>Minerales opacos 3 %</p> <p>Circón 1 %</p>	
Accesorios				
Secundarios.				
Alteración		<p>Sericita</p> <p>Clorita</p> <p>Cuarzo</p>		<p>Sericita y arcillas</p> <p>Clorita</p> <p>Cuarzo</p> <p>Calcita</p>
Textura				
Nombre	<p>Esquistosa</p> <p>Esquistos de biotita-hornblenda.</p>	<p>Hidrotermal: Feldespatización y silicificación.</p> <p>Sericitización</p> <p>Esquistosa</p> <p>Esquistos de biotita</p>		<p>Feldespatización</p> <p>Silicificación</p> <p>Hipidiomórfica</p>
Observaciones	<p>Paragénesis : biot+turm+horn+epid+czc.</p> <p>Los relictos de plagioclase están alineados y transformándose a epidota-cuarzo.</p> <p>Textura tipo mortero con min. opaco rodeando a plagioclase</p> <p>Cristales alineados: biotita, hornblenda, epidota en lineamientos idioblásticos de ortoclase y cuarzo</p>	<p>Paragénesis: biot+horn+orto</p> <p>Presenta zona de asimilación producida por fluidos graníticos con mayor cantidad de hornblenda en el intrusivo.</p> <p>Inclusiones de min. opacos en la biotita y de plagioclase (ilmenita ?)</p>	<p>El intrusivo está asimilando al esquistos.</p> <p>Presenta mayor alteración que el esquistos.</p>	

clasa, ortoclasa posiblemente del esquisto. El esquisto tiene biotita como mineral predominante, la cual presenta una clara alineación que produce una esquistosidad bien marcada en la roca, a veces formando estructuras ocelares de ortoclasa. Como puede observarse en la Foto 13 la plagioclasa (andesina) en cristales subidoblásticos sigue groseramente el alineamiento de la biotita, con cuarzo y ortoclasa en menor proporción, otros minerales de metamorfismo son hornblenda en porfidoblastos y muy poca epidota, la cual se encuentra intercalada en las laminillas de biotita. Minerales opacos (magnetita?) en granos irregulares se hallan principalmente en el intrusivo. El tamaño del grano de ambas rocas es fino.

La paragénesis bio-plag-orto-czo-horn no es característica de ninguna facies; a diferencia de la lámina anterior, en esta roca predomina la biotita cuyo alineamiento determina la esquistosidad. La paragénesis bio-horn-ort indica una facies de mayor temperatura y presión (anfíbolita).

Discusión. Para explicar la existencia de estos esquistos se plantean dos hipótesis:

- A.- Que correspondan a facies finas de borde de las rocas intrusivas graníticas, formándose por compresión durante o poco después de su emplazamiento
- B.- Que se trata de rocas que han sufrido un metamorfismo regional de grado bajo-medio y que por lo tanto constituirían el zócalo del área, los cuales posteriormente fueron levantados durante la intrusión granítica o poco antes debido a fases compresivas tangenciales cretácicas (ver Geología Histórica). o posiblemente anteriores.

Los criterios que apoyan estas hipótesis son:

- A.- Las primeras intrusiones de un batolito son más básicas y ricas en biotita y hornblenda; la composición mineralógica entre las rocas graníticas y los esquistos es similar; presencia de circón bien cristalizado en el esquisto; la relativa corta extensión del afloramiento; se encuentra en una zona de intenso tectonismo. Existe una gran estructura que pasa por esta parte y es visible en fotografía de satélite, además fallas inversas y normales son muy comunes en esta zona. Williams et al (1983) mencionan que en los márgenes de los grandes plutones de granodiorita, con poca o ninguna estructura en el centro, pueden exhibir un bandeamiento planar, una orientación lineal de los minerales y abundantes inclusiones básicas, que pueden ser enclaves o xenolitos, sugieren que estas rocas trituradas de borde fueron producidas no por fuerzas tectónicas después de la solidificación total, sino durante el ascenso del plutón y mientras permanecía líquida una pequeña fracción del magma granodiorítico.

B.- Marcada foliación y esquistosidad; evidente intrusión de rocas graníticas; marcado tectonismo, gran fracturación y alteración; mineralogía correspondiente a un metamorfismo regional de grado bajo-medio de facies de anfibolita; las rocas graníticas inmediatas al contacto no presentan ninguna foliación.

Una tercera posibilidad es que correspondieran a un metamorfismo de contacto con presión local en rocas cuarzo feldespáticas de una formación sedimentaria (Fm. Venado o Miembro Toneles), pero existen varios argumentos en contra de esta hipótesis, que son: la carencia de una graduación lateral y transversal, las rocas del Mm. Toneles son corneanas con textura granoblástica y por último el estudio de la lámina No. L-27 muestra una roca cuarzofeldespática con fenocristales relictos de plagioclasa, que indican una procedencia ígnea más bien que sedimentaria, para la roca original.

La edad de estas rocas está limitada superiormente al Cretácico superior - Paleoceno ya que son intrusionadas por rocas graníticas de dicha edad, en caso de comprobarse la primera hipótesis se considerarían contemporáneas con ellas, en caso de probarse la segunda constituirían el zócalo del área de una edad probablemente precámbrica o paleozoico inferior.

#### c) Rocas Volcánicas.

Se reconocen cuatro grupos en base a su composición, edad y morfología:

##### c.1) Volcanismo Intermedio Cretácico (?).

Fué encontrado en un solo afloramiento pequeño en el arroyo El Chiquelito. Se trata de una roca andesítica de color verde oscuro que se encuentra en contacto sobre rocas carbonatadas de la Fm. Las Tierras, de la cual contiene xenolitos que sugieren coladas sobre una superficie de erosión. Ambas rocas se encuentran intrusionadas por rocas graníticas, notándose claramente una fuerte circulación de fluidos a lo largo del contacto, la caliza está marmolizada y metasomatizada y la roca volcánica metamorfizada.

Lamentablemente se carece de láminas delgadas de esta roca, lo cual no permite establecer su paragénesis exacta.

Otra localidad posible de un afloramiento similar se halla a 4 km. al sur del rancho Las Tierras, descendiendo hacia el arroyo Los Alisos en el camino hacia la mina La Norteña.

La edad de estas rocas es considerada cretácica si se acepta la edad Cretácico superior-Paleoceno para las rocas intrusivas que las cortan. Por otro la-

do, rocas volcánicas de condiciones estructurales y litológicas parecidas, son asignadas al Cretácico inferior como la Fm. Tarahumara descrita por Wilson y Rocha (1949) y otras (Ver Marco Geológico Regional).

### c.2) Diques Andesíticos y Lamprofídicos.

Son comunes principalmente en las rocas graníticas y las formaciones inferiores de la columna estratigráfica. Pueden alcanzar anchuras de más de 10 m., como en el flanco occidental de C. Peyote y C. la Chiva muy cerca de la falla Novillo, aunque la mayoría tienen anchuras de un metro o menos.

Se reconocen al menos dos etapas de extrusión: la primera posiblemente contemporánea al emplazamiento granítico que es cortada, o sus flancos seguidos, -- por vetas pegmatíticas y aplíticas. Se emplaza a lo largo de diaclasas y a favor de fallas inversas. Posteriormente son desplazadas por fallas inversas relacionadas a la etapa compresiva tangencial del Paleoceno, lo cual restringe su edad. Los diques de la última etapa cortan a los diques pegmatíticos e intermedios anteriores y solo se ven desplazados por fallas normales.

En muestra de mano, tienen una coloración de verde claro a oscuro con fenocristales de hornblenda y plagioclasa.

Microscópicamente muestran una composición más alcalina que las coladas. En las láminas 38 y 41, hechas en diques que se emplazan en rocas metasedimentarias arenosas y en granito respectivamente, se observa una textura micro y macro porfídica con fenocristales de feldespato potásico y plagioclasa (Tabla 8). El feldespato es ortoclasa y adularia y la plagioclasa es andesina con  $An_{36}$ , ambos en cristales automorfos y maclados. La biotita es el ferromagnesiano dominante con muy poca hornblenda en la matriz. Los accesorios principales son esfena, apatito y circón. La esfena ocurre diseminada en la matriz y en inclusiones de biotita. Los minerales de hierro son comunes en ambas, así como el cuarzo xenomorfo de cristalización tardía. La alteración propilítica es marcada. Hay además vetillas de cuarzo-epidota que indican un estadio hidrotermal.

La composición de estas láminas es de una latandesita.

### c.3) Vulcanismo Intermedio Terciario.

Son rocas de composición intermedia, comúnmente porfídicas que se encuentran en la parte noroccidental del área.

Están formadas principalmente de coladas que descienden hacia el E desde la cima de la sierra Novillo-Rebeico (Foto 15) y forman en el graben del río Yaqui, pequeños cerros como el C. Las Cabras, con escarpes abruptos producidos por falla-

miento distensivo asignado al Terciario medio. Se encuentran algunas intercalaciones de brechas volcánicas de clastos gruesos, y son muy similares a las encontradas el pie de la falla Novillo, que pueden sugerir que el fallamiento normal inicia más temprano, aunque estas brechas son muy comunes también en las partes inferiores de un edificio volcánico, que por su naturaleza forma relieves. Las coladas presentan un diaclasamiento muy marcado producto del enfriamiento de las mismas.

En muestra de mano son rocas generalmente porfídicas con fenocristales de biotita, hornblenda o plagioclasa, en una matriz afanítica de color verde, café o morado. Se relacionan con tobas y brechas que indican las etapas explosivas, así como con tobas rojas de grano grueso a fino, con estratificación media, que sugieren la existencia de condiciones acuáticas durante su depósito.

Las relaciones entre las rocas volcánicas y vulcanoclásticas que conforman la unidad, no son siempre constantes, debido a los diferentes medios de depósito o emplazamiento que se conjugan: acuáticos, cuencas, colinas, etc. no obstante, en las secciones se intenta resumir la secuencia principal y sus relaciones con las formaciones posteriores (Fig. 9, sección F-F' y G-G').

Microscópicamente estas rocas muestran una leve variación de andesitas basálticas a andesitas francas. La lám. No. 25 representa a las primeras. Tiene fenocristales de plagioclasa con  $An_{50}$  labradorita-andesina en cristales automorfos y con zoneamiento. Como único ferromagnesiano tiene augita en fenocristales automorfos. La matriz está constituida por cristalitos de plagioclasa antiperfítica y augita, con textura pilotaxítica la cual es muy rara en los basaltos (Foto 13). Una intensa oxidación de los minerales opacos impregna la roca y le confiere una coloración pardo-rojiza. La clasificación microscópica basada en el porcentaje de los minerales no es tan confiable como el análisis químico que abarca el estudio de la mesostasia, no obstante por sus fenocristales y características de la matriz corresponde a una andesita de augita.

Otro tipo de andesita, muy similar macroscópicamente, ya que presenta la misma coloración pardo rojiza y fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos, se diferencia en que éstos son principalmente un anfíbol verde-pardo hornblenda y biotita parda, ambos en cristales automorfos con bordes de reacción de minerales opacos (magnetita). La plagioclasa presenta los tres tipos principales de macla y en ocasiones está zonada, es un poco más sódica Andesina  $An_{40}$ , presenta además inclusiones antiperfíticas de ortoclasa. Los accesorios son circón, apatito, generalmente en inclusiones. La matriz de vidrio o microlitos de plagioclasa presenta una clara fluidalidad con estructuras filamentosas de minerales o

pacos (lám. No. 23). Generalmente estas lavas forman corrientes de poca longitud pero muy gruesas. Según Williams (1983) son más silíceas y alcalinas que las andesitas de piroxeno y es común que varíen a dacitas y latíandesitas.



Foto 14.- Microfotografía de una andesita basáltica, lámina No. 25 (4X), se observan fenocristales de plagioclasas con maclas zonadas y con bordes de alteración. En amarillo cristales maclados de augita en una matriz con textura poikilítica. (Cerro Las Chivas) .

Estas rocas muestran diferentes grados de alteración propilítica con desarrollo de clorita-penina, calcita a partir de la hornblenda y la biotita, así como pistachita, clinozoisita y sericita a partir de las plagioclasas. Algunos autores suponen que se debe a soluciones deutéricas hidratadas ricas en  $\text{CO}_2$ , mientras que otros las consideran como introducción posterior de fuentes extrañas. En el área estas alteraciones, y la introducción de cuarzo en vetillas, pueden relacionarse al emplazamiento posterior de rocas más silíceas (riolitas, ignimbritas).

La lám. No. 75 también corresponde a una colada, pero el grado de propilitización es tan alto que la clorita le confiere a la roca un color verde oscuro y la calcita de alteración produce que la roca efervesca con ácido clorhídrico diluido. Se observan fenocristales relictos de plagioclasa completamente alterados a arcillas, sericita y calcita, también clorita-penina y cuarzo rellenando los huecos. La roca original mostraba orientación de las plagioclasas indicadoras de un carácter fluidal. La alteración propilítica es muy común en ande

TABLA 8

VULCANISMO INTERMEDIO

Lámina Mineral	No. 23	No. 25	No. 39	No. 75	No. 38	No. 41
	Andesina An42 Hornblenda Biotita	Labradorita-Andesina An50 Augita	Andesina An40 Anfibol (hornblenda) biotita	Plagioclasa ortoclasa	Andesina Ortoclasa Biotita	Andesina An36 Ortoclasa Biotita Anfibol
Accesorio	Minerales opacos Circón Apatito	Minerales opacos Circón	Minerales opacos Circón	Matriz	Matriz	Matriz
Secundarios	Cuarzo de relleno de fractura Sericitita a partir de las plagioclasa y el anfibol	Zeolitas	Clorita Calcita Clinzoisita Sericitita Caolín	Calcita Clorita Sericitita Cuarzo	Clorita Sericitita Cuarzo (de relleno)	Clorita (penina) Sericitita Cuarzo (de relleno) Calcita Epidota
Alteración	Sericitización Silicificación	Oxidación	Alteración Propilitica: calc + epi + sericitita.	Propilitica Silicificación Oxidación	Clorificación Sericitización Silicificación	Propilitización Silicificación
Textura	Porfídica fluidal	Porfídica traquítica	Porfídica traquítica	Afanítica - Microporfídica	Porfídica traquítica	Porfídica
Notas	Andesita de Hornblenda y Biotita. Plagioclasa zoneada con reacciones antiperfíticas Minerales opacos aciculares en una matriz criptocristalina indican el flujo.	Andesita Basáltica de Augita La matriz está formada por diminutos cristales de plagioclasa y augita acompañados de minerales opacos oxidados, algunos de los cuales son rellenados por zeolitas.	Andesita de hornblenda y Biotita. Matriz formada por microcristales de plagioclasa y min. opacos alterados quedando solo sus bordes. Minerales opacos como inclusiones en las plagioclasas.	Andesita (Propilita) Plagioclasa en cristales automorfos muy alterados quedando solo sus bordes.	Latíandesita de biotita Plagioclasas con zonamiento. Esfena como inclusiones de la biotita.	Latíandesita La mayor parte de la esfena se está formando a partir de la clorificación de la biotita. Vetillas de silicatos cortadas y desplazadas por vetillas de epidota exclusivamente. Muy fracturada.

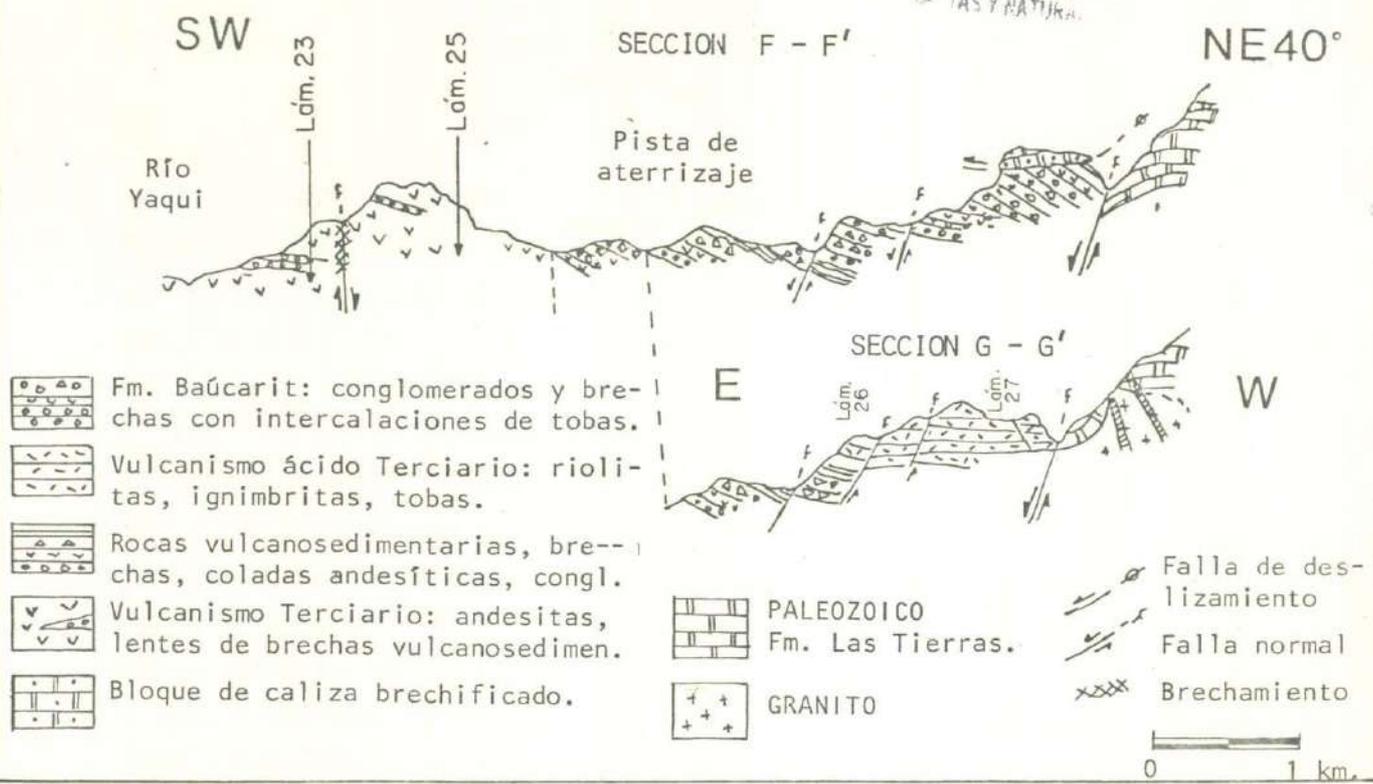


FIGURA 9

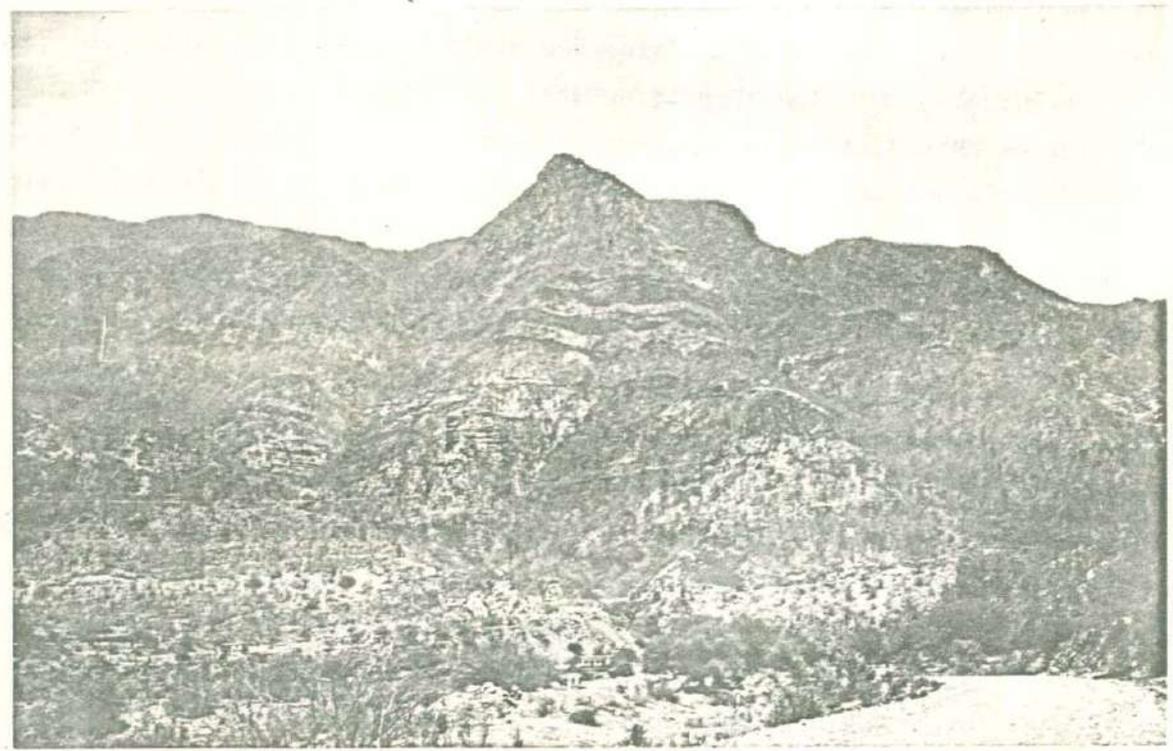


FOTO 10.- Panorámica de la Sierra Novillo-Rebeico, donde se observan en la base coladas andesíticas, cubiertas por rocas conglomeráticas y vulcanosedimentarias con estratificación gruesa; en la cima coladas riolíticas. En la parte inferior se aprecia el poblado La Estrella. Vista al NW.

sitas y a estas rocas se les conoce como propilitas.

#### c.4) Vulcanismo Acido y Depositación molásica.

Posteriormente al vulcanismo intermedio tiene lugar la extrusión de coladas ácidas riolíticas a dacíticas con explosiones ignimbríticas. Estas se localizan en una zona muy restringida en la parte NW del área, que ha quedado como remanente de erosión, puesto que estas lavas ácidas descienden de igual modo de la sierra Novillo-Rebeico (Foto 15) .

Entre estas dos unidades volcánicas (intermedias y ácidas) se encuentra un conjunto de rocas vulcanosedimentarias, compuestas de la base a la cima por un conglomerado de clastos angulosos de granito y de rocas volcánicas, rocas volcánicas afaníticas con amígdalas, rocas vulcanosedimentarias con estratificación fina. Hacia el este continúa con una brecha volcánica. El espesor de esta zona es aproximadamente 80 m.

Sobre estas rocas se depositan rocas riolíticas e ignimbritas con cristales de cuarzo y relleno de calcedonia (Fig. 9 secc. G-G') .

Hacia el NE, sobre las rocas vulcanosedimentarias se deposita una unidad eminentemente clástica compuestas por fragmentos hasta de 30 cm. de rocas volcánicas, los cuales son cementados por una matriz arcillosa-arenosa (Fig. 8 secc. F-F'). Esta brecha conglomerática tiene un espesor aproximado de 300 m. contiene algunas intercalaciones de tobas y es cortada por vetas ácidas de color rojo que aprovechan zonas de debilidad, principalmente fallas normales (Lám.No.40) Estas rocas son las que asignamos como Fm. Baúcarit.

Afloran además coluviones semiconsolidados principalmente sobre la Fm. antes mencionada y aluviones formados por sedimentos deleznable en los arroyos.

Petrografía. Los principales tipos morfológicos se encuentran representados en lámina delgada. Una colada en la lám. No. 26 cuya mineralogía consiste de fenocristales de cuarzo de hasta 7 mm. de diámetro, xenomorfos y con golfos de corrosión ; plagioclasa andesina  $An_{36}$  en fragmentos reducidos y ortoclasa con inclusiones de cuarzo y biotita. El único ferromagnesiano es la biotita café (ferrífera) con inclusiones de cuarzo y curvada durante el emplazamiento al rededor de los granos de cuarzo. Los accesorios son circón y minerales opacos en la matriz, la cual está formada de un mosaico de microcristales de cuarzo y feldespato con poco relleno intersticial de vidrio.

En presencia de soluciones ácidas los feldespatos se han alterado a caolín las plagioclasas a arcillas (montmorillonita-sericita). Según el porcentaje de fenocristales (Tabla 9) se considera como una riodacita. Aunque el contenido

de feldespato alcalino en la matriz no es considerado por lo que podría pasar a una riolita de tipo potásico. Este tipo se caracteriza por su plagioclasa ande sina- oligoclasa, su feldespato ortoclasa-sanidina y que el ferromagnesiano -- principal es la biotita, características que corresponden con la lám. estudiada

La lámina No. 27 muestra otra colada pero de composición dacítica. Esta clasificación no es muy precisa, puesto que la roca muestra una intensa alteración. Coincide con las dacitas en que sus fenocristales son, en su mayoría, re lictos de plagioclasa automorfa  $An_{42}$ , cuarzo subautomorfo y pocos feldespatos potásicos. Carece de ferromagnesianos y sus formas de alteración como clorita. La alteración es principalmente caolín y otras arcillas, sericita, calcita y -- cuarzo posterior en agregados. Los minerales opacos poco oxidados distribuidos al azar, parecen corresponder a magnetita.

Un dique volcánico ácido que atraviesa a la secuencia andesítica, microscó picamente está compuesto por hornbleada de grano muy fino, biotita, cuarzo, pla gioclasa y ortoclasa en cristales xenomorfos. Como accesorios se encuentran -- circón, epidota y minerales opacos distribuidos al azar. La textura afanítica de cristales con una matriz coloreada por la oxidación de fierro, muestra algunos fragmentos angulosos visibles en muestra de mano, desprendidos de la roca. Estos fragmentos están constituidos completamente de microlitos de plagioclasa sin orientación, con bordes de reacción de opacos que a su vez son rodeados por cristales de cuarzo, reflejan el grado de asimilación de estos fragmentos por - la lava, durante su proceso extrusivo (Lám. No. 40).

Existen también vesículas rellenas de calcedonia y de cuarzo comunes en -- las rocas riolíticas.

En la lám. No. 74, se muestra una parte "fina" de los conglomerados-brecha vulcanosedimentarias. Está compuesta de clastos angulosos a subangulosos hasta de un cm. de diámetro, de rocas volcánicas. En la matriz se encuentran cristales de cuarzo, plagioclasa, ortoclasa, biotita, minerales opacos y epidota, cuyos intersticios son rellenos de arcillas de color rojizo. La existencia de mi nerales como biotita, aunado a la angulosidad y poca alteración de los clastos, refleja el reducido transporte de sus materiales.

Los clastos son de diferentes composiciones: basálticos con plagioclasa la bradorita en un 80%, cuarzo con bordes kelifíticos que indican su inestabilidad y minerales opacos; clastos de latiandesita de biotita con textura microporfídi ca compuestos de plagioclasa; biotita, ortoclasa con accesorios de esfena, epi dota y minerales opacos.

Son brechas policmíticas formadas a partir de la erosión de rocas volcáni-

TABLA 9

VULCANISMO ACIDO

Lámina Mineral.	No. 26	No. 27	No. 74
	Plag. Andesina An <sub>36</sub> 16 % Feldes. Potásico 8 % Cuarzo 23 % Biotita 3 % Matriz 48 %	Plag. Andesina An <sub>42</sub> Cuarzo Matriz	Feldes. Potásico 1 % Cuarzo 2 % Plagioclasas 1 % Fragmentos de roca 65 % Matriz 27 %
Accesorios	Minerale opacos 1 % Círcón Epidota ?	Minerale opacos	Minerale opacos 1 % Biotita 1 % Epidota
Secundarios.	Cuarzo (de relleno) Arcillas Feldespato Caolín	Cuarzo (de relleno) Sericita Calcita Caolín	Arcillas Oxidación
Alteración.	Sericitización Caolinización	Sericitización Caolinización	Sericitización
Textura	Porfídica (Felsofídica)	Porfídica	Porfídica
Nombre	Riodacita	Riodacita ?	Brecha Volcánica
Observaciones	La matriz está formada por una pasta de cristales equigranulares de feldes. potás. y cuarzo. Biotita ferrífera con cristales doblados en contacto con cuarzo y con inclusiones de éste. Cuarzo con golfos de corrosión	Roca sumamente alterada, no permite medir porcentajes.	Fragmentos de roca : basalto andesita, latiandesita. Cristales: cuarzo, plagioclasa (labrador), ortoclasa, biotita, min. opacos y epidota. Presencia de pertita.

cas intermedias-básicas, cuyos fragmentos han sido depositados sin mucho transporte. Su formación se relaciona a la creación de relieves por fallas normales durante la tectónica de Sierras y Valles Paralelos. La carencia de fragmentos de volcanismo ácido, granito o metasedimentos, tanto en muestra de mano como en lámina delgada, puede indicar que se formaron antes que los dos últimos conjuntos de rocas fueran descubiertos por la erosión y antes o contemporáneamente a las rocas volcánicas ácidas, lo cual es confirmado por las observaciones de campo (Fig. 8).

La edad de estas rocas volcánicas ácidas, sólo puede fijarse mediante correlaciones con rocas de litología y contexto geológico similares. Según Damon y Bickerman (1964) enseguida del intenso magmatismo calcoalcalino asociado a la orogenia Laramídica (90 a 40 m. a.) existe un hiatus magmático durante el Eoceno tardío, el cual es interrumpido por una explosión de volcanismo ácido durante el Oligoceno-Mioceno inferior, que culmina con la edificación de la Sierra Madre Occidental, acumulándose más de un kilómetro de flujos riolíticos, piroclásticos e ignimbritas, las edades quedan comprendidas entre 34 y 23 m. a. según Deal et al (1978).

Minerales	FELDESPATO ALCALINO		PLAGIOCLASAS		FTO. 10%
	A	B	60%	90%	
CUARZO 10 %			C	D	
			▲ 26 ▲ 27	75	
CUARZO 10 % NO FELDES PATOIDES			▲ 32 ▲ 41	▲ 39 ▲ 23 ▲ 25	
	E	F	G	H	I
FELDESPA- TOIDES	K	L	M	N	O

Según Jung y Brousse (1959).\*

- |                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| A.- Riolita Alcalina  | H.- Latiandesita       |
| B.- Riolita           | I.- Andesita           |
| C.- Riodacita         | J.- Rocas Ultramáficas |
| D.- Dacita            | K.- Fonolita           |
| E.- Traquita Alcalina | L.- Fonolita-tefrita   |
| F.- Traquita          | M.- Tefrita-fonolítica |
| G.- Latita            | N.- Tefrita            |
|                       | O.- Nefelinita         |

▲ Roca muy alterada con porcentajes imprecisos.

DIAG. 3.- CLASIFICACION DE LAS ROCAS VOLCANICAS.

\* Tomado de Aubouin et al, 1981.

### 3) Geología Estructural.

#### a) Pliegues.

Existen al menos tres tipos de plegamiento que difieren en tiempo y en estilo tectónico. El primero y más antiguo, se caracteriza por micropliegues que afectan únicamente a la Fm. Las Tierras. El segundo, está representado por pliegues recostados isoclinales de escala decamétrica con ejes NW 45° y con posible vergencia al SW. Afectan principalmente a las partes incompetentes de la Fm. Las Tierras en capas alternantes de mármoles y mármoles con bandas silíceas y pelíticas finas, también a las areniscas con intercalaciones de lutitas silíceas negras de la Fm. Chubisco y a la Fm. Mina México. Se asocian a estos pliegues fallas inversas de magnitud reducida (Foto 17). En la Fm. Las Tierras C. Peyote, se observan pliegues irregulares: de rodilla, inclinados, abiertos, que indican diferentes etapas de plegamiento con ejes de deformación variables (Foto 16). Solo un estudio de microtectónica permitiría definirlos.

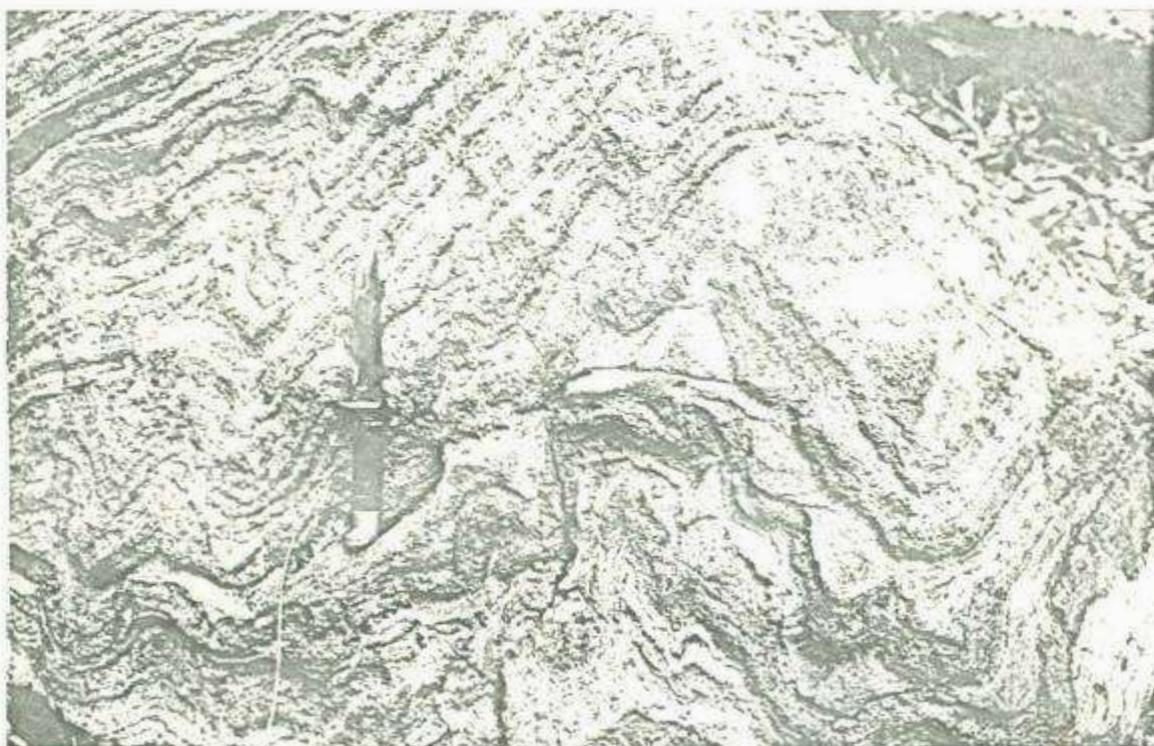


Foto 16.- Bandas calcosilicatadas de estratificación fina, intercaladas en mármoles de la Fm. Las Tierras. Presentan un microplegamiento intenso donde pueden diferenciarse al menos dos fases de deformación: una representada por pliegues subisoclinales de amplitud mayor y otra por micropliegues de dimensión más reducida; por lo tanto estos son posteriores a los primeros pues afectan a ambos flancos (de Mattauer, 1976). Cerro El Peyote.

Es necesario mencionar que en la Sierra El Batamote las capas de la Fm. mencionada no presentan este plegamiento, mostrando un comportamiento competente. Aquí solo es visible un plegamiento a gran escala, los echados horizontales en su parte media van aumentando gradualmente hacia el E, hasta alcanzar magnitudes de  $60^\circ$ . La charnela de este anticlinal tiene un rumbo NW  $12^\circ$ . Anticlinales con ejes similares y que encierran pliegues más pequeños, tiene sus crestas en la mina La Norteña y en el escarpe que forma el arroyo Murrieta. Estos pliegues abiertos y de mayor amplitud, constituyen el último estilo tectónico de plegamiento.

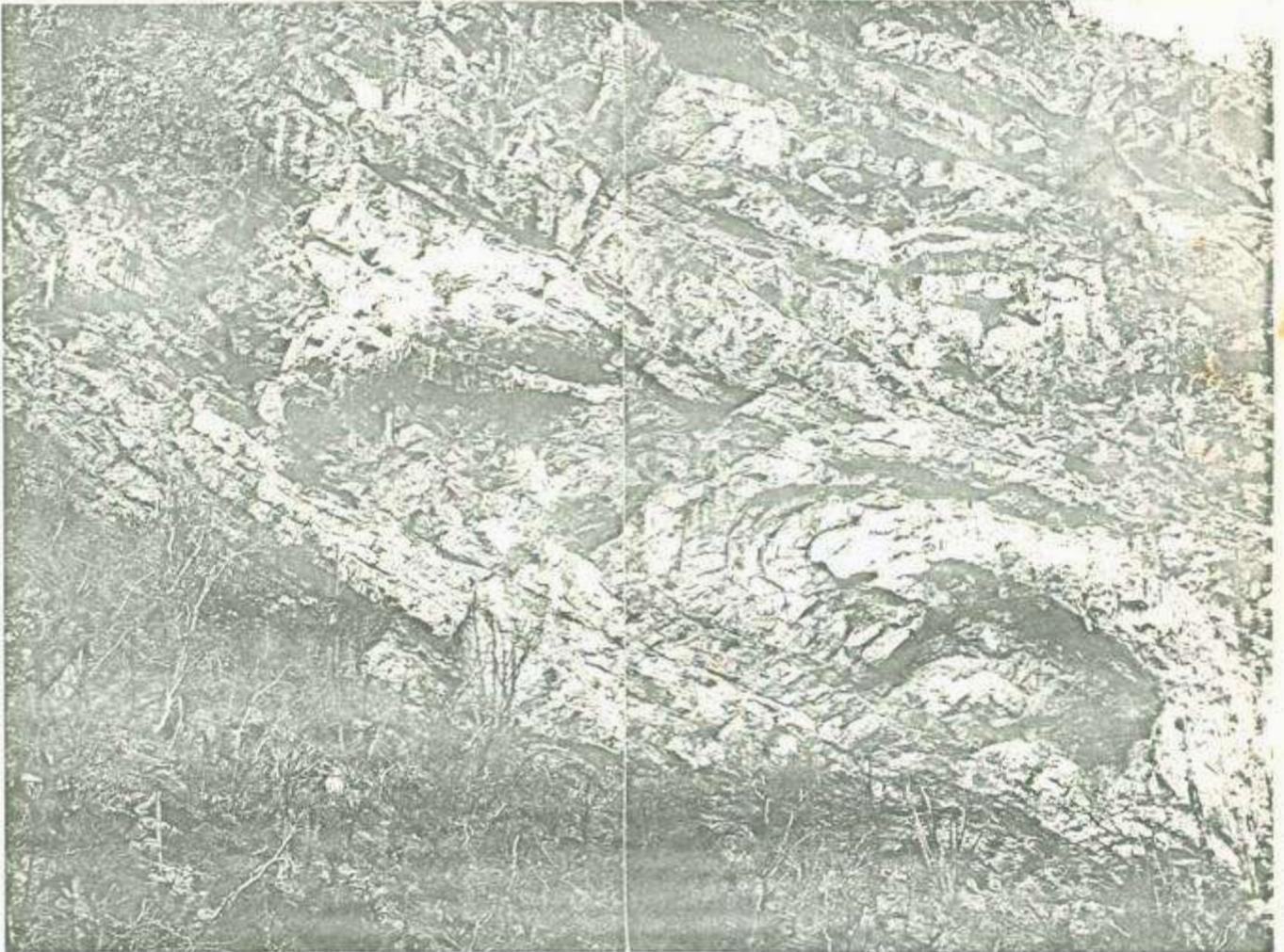


Foto 17.- Pliegues isópacos, subisoclinales, recostados hacia el SW que son desplazados por fallas inversas. Se encuentran en mármoles grises y blancos (manchados de óxidos) de la Formación las Tierras. El rumbo de las capas es de  $45^\circ$  a  $42^\circ$  al NW y echado de  $15^\circ$  a  $35^\circ$  al NE (SE del rancho El Chubisco, en el arroyo del mismo nombre).

b) Fallas inversas.

Son fallas de pequeño salto incluso cabalgamientos reducidos (mina La Nor-teña), bastante distribuidas en todas las rocas del área, afectando tanto a las rocas metasedimentarias como graníticas y diques relacionados (Fotos 18 y 19). Se encuentran en su mayoría, asociadas a la misma fase tectónica, pueden dife-renciarse tres sistemas de fallas en etapas sucesivas representadas en el dia-grama 4. Según sus relaciones se puede afirmar que son posteriores al emplaza-miento plutónico.



Foto 18.- Fallas inversas que desplazan a un dique granítico, empla-zado en la secuencia de esquistos. (Carretera a Bacanora , cerro Anaconda).

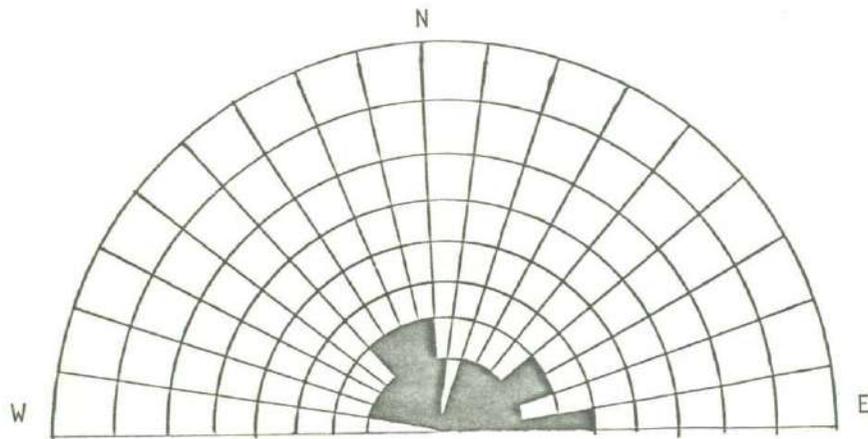
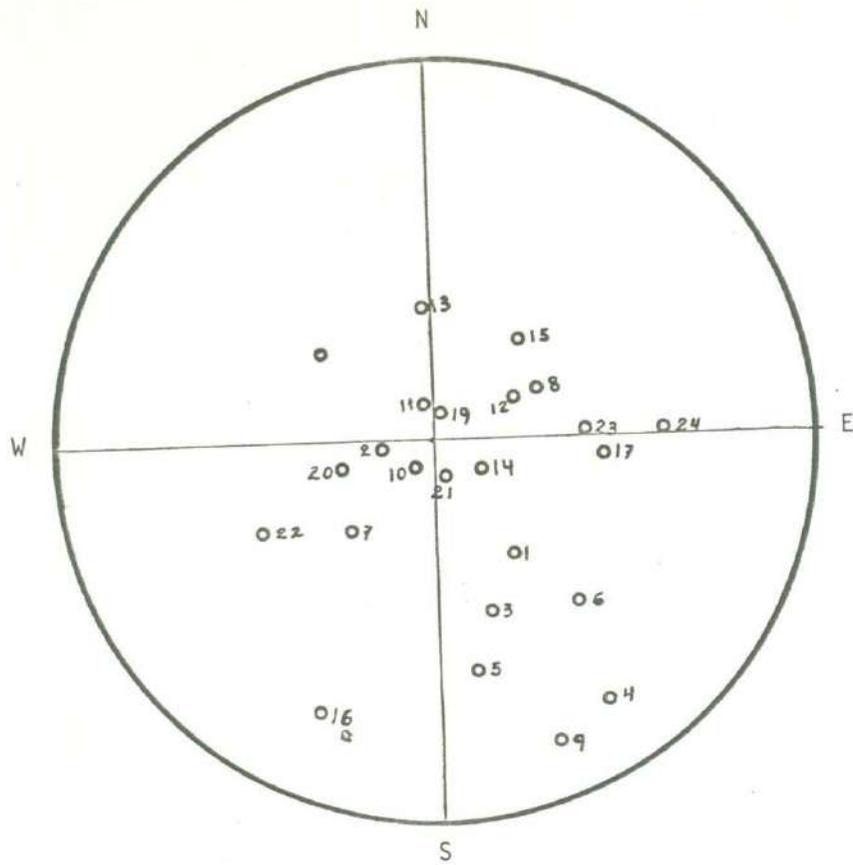
Otras fallas inversas de bajo ángulo con rumbos NW  $40^\circ$  y echado  $35^\circ$  NE, se asocian al plegamiento recostado y son más antiguas que las antes descritas (Fo-to 17).

c) Diaclasas.

Se observaron dos familias principales de diaclasas que afectan a las ro-cas metasedimentarias, una con rumbo que varía de  $5^\circ$  a  $35^\circ$  al NW y echados  $60^\circ$  a  $90^\circ$  al SW y otra con rumbo  $40^\circ$  a  $60^\circ$  al NE con echados de  $40^\circ$  a  $80^\circ$  al NW (Dia-grama 6) .

Se originaron a partir del debilitamiento de los esfuerzos que produjeron\_

DIAGRAMA 4.- FALLAMIENTO INVERSO.



	RUMBO	ECHADO	RUMBO	ECHADO	
1.-	56° NE	40° NW	13.-	87° NE	36° SE
2.-	9° NW	16° NE	14.-	25° NE	14° NW
3.-	72° NE	50° NW	15.-	50° NW	37° SW
4.-	58° NE	80° NW	16.-	66° NW	76° NE
5.-	83° NE	62° NW	17.-	5° NE	45° NW
6.-	48° NE	58° NW	18.-	34° NE	41° SE
7.-	42° NW	35° NE	19.-	76° NW	5° SW
8.-	30° NW	32° SW	20.-	11° NW	31° NE
9.-	70° NE	80° NW	21.-	66° NE	12° NW
10.-	30° NW	10° NE	22.-	25° NW	56° NE
11.-	80° NE	51° SE	23.-	10° NW	40° SW
12.-	28° NW	25° SW	24.-	5° NW	60° SW

el plegamiento, ya que las primeras tienen rumbos longitudinales paralelos a los ejes de los pliegues y las segundas transversales a ellos. Por otra parte el enfriamiento ígneo conlleva un importante diaclasamiento.

Estas fracturas son importantes ya que permiten el emplazamiento de sistemas de diques andesíticos, pegmatíticos y venas de cuarzo, así como la circulación de fluidos que produjeron metasomatismo y mineralización.

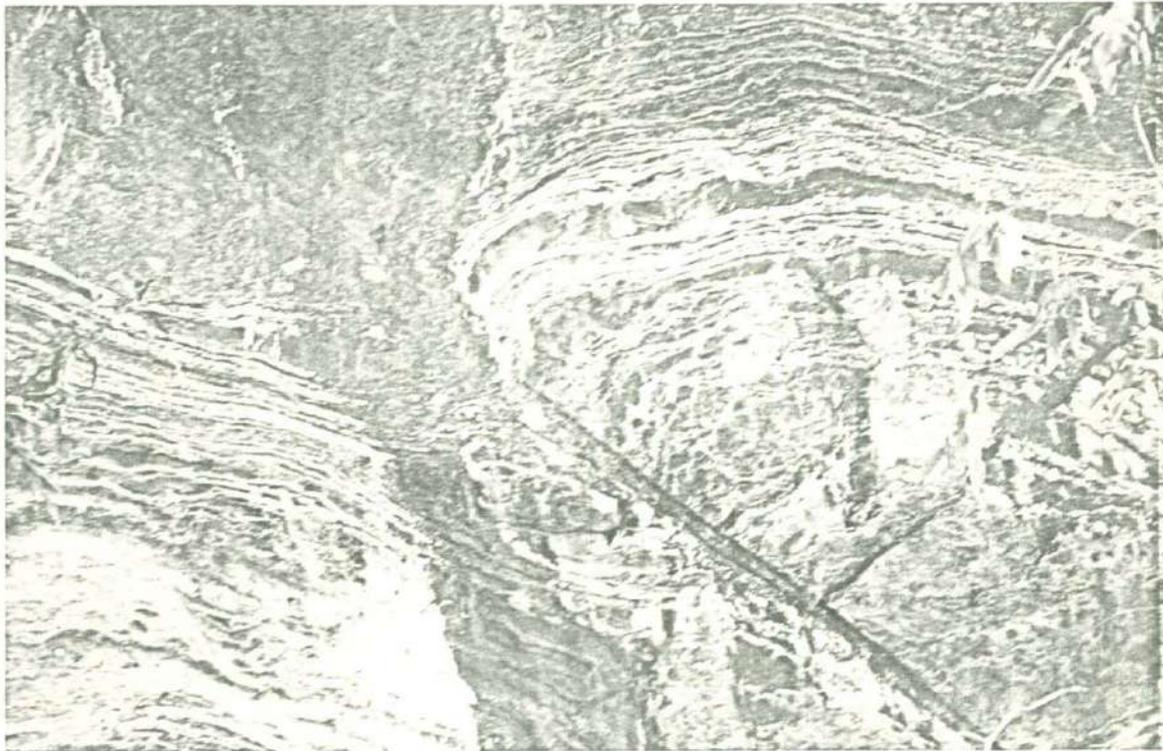


Foto 19.- Falla inversa de rumbo NW 30° y echado 10° al NE en calizas con bandas calcosilicatadas (Fm. Las Tierras), que muestran pliegues de arrastre o gancho de falla (Arroyo La Hoya).

#### d) Esquistosidad.

Se limita a una franja muy reducida en la porción NE del área, el problema de su origen se trata en el inciso 2 a.4) .

La esquistosidad tiene un rumbo promedio de 40° a 50° al NW y echado de 70° a 80° al SW (Diagrama 2). Queda localizada en una zona donde se intersectan tres estructuras lineales importantes (Fallas) .

#### e) Fallas Normales.

Son las estructuras mayores y mejor representadas en el área de estudio.

Afectan a todas las rocas inclusive a la Fm. Baúcarit .

Los dos sistemas principales tienen rumbos  $30^{\circ}$  -  $40^{\circ}$  NW y echados de  $40^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  NE y están representados en el diagrama 5.

Las fallas mayores como la del Novillo y la de Jiropa, con aproximadamente 40 Km. de longitud, siguen rumbos NNW  $10^{\circ}$  SSE y tienen saltos importantes de - centenas de metros. Otras muy grandes, más recientes, tienen rumbos cercanos - al E-W cortando diagonalmente a las anteriores, por ejemplo la falla por la -- cual drena el arroyo murrieta .

Estos dos sistemas de fallas forman grandes bloques basculados que consti- tuyen los principales rasgos geomorfológicos del sector estudiado (Fig. 10).

Al tener predominancia las fallas con rumbo N-S, los relieves principales\_ se alinean en esa dirección, alternados con valles situados en los "grabens", - dando lugar a la provincia de Sierras y Valles Paralelos.

Las trazas de las fallas mayores no pueden seguirse en el campo, debido a que han sido ocultadas por los sedimentos de laderas, sin embargo existen nume- rosas fallas de menor magnitud asociadas a ellas y que en promedio indican su - rumbo y echados (Foto 20).

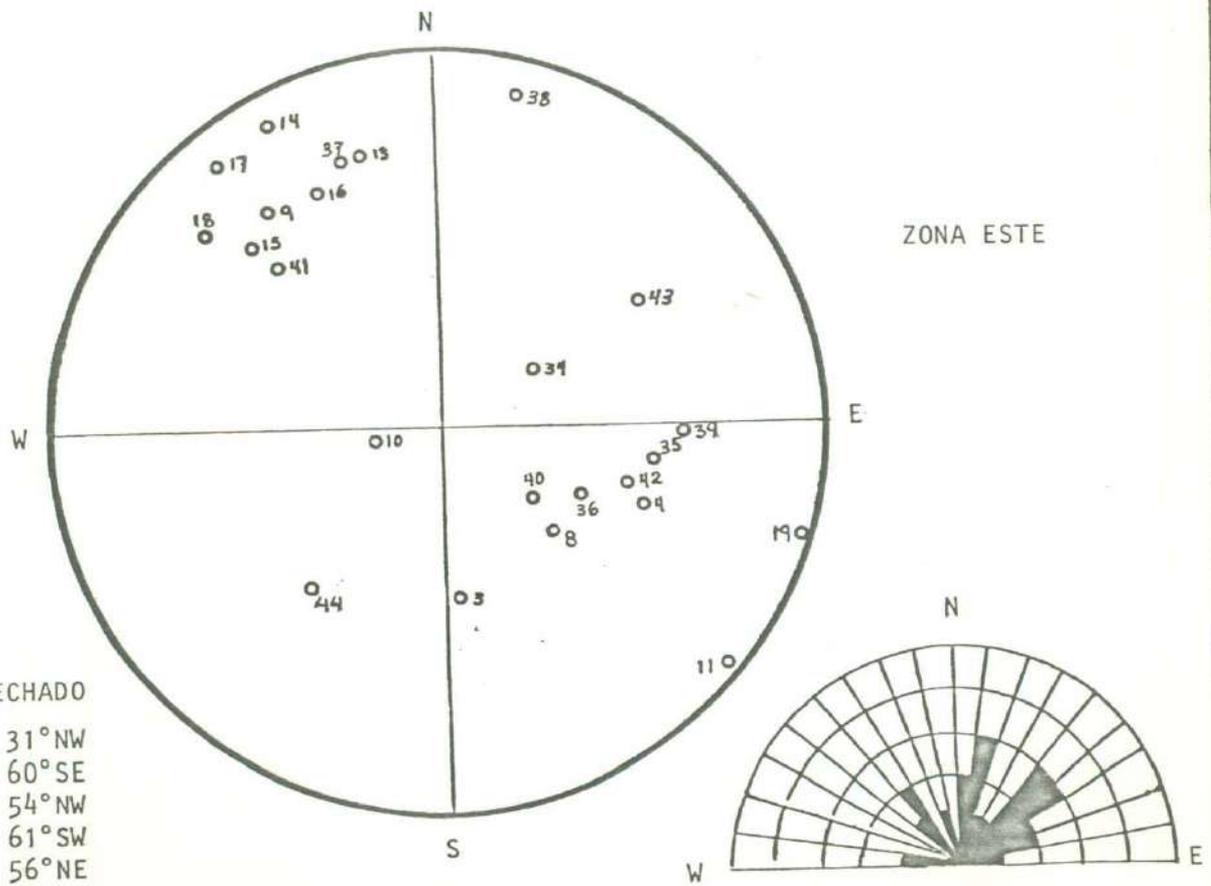
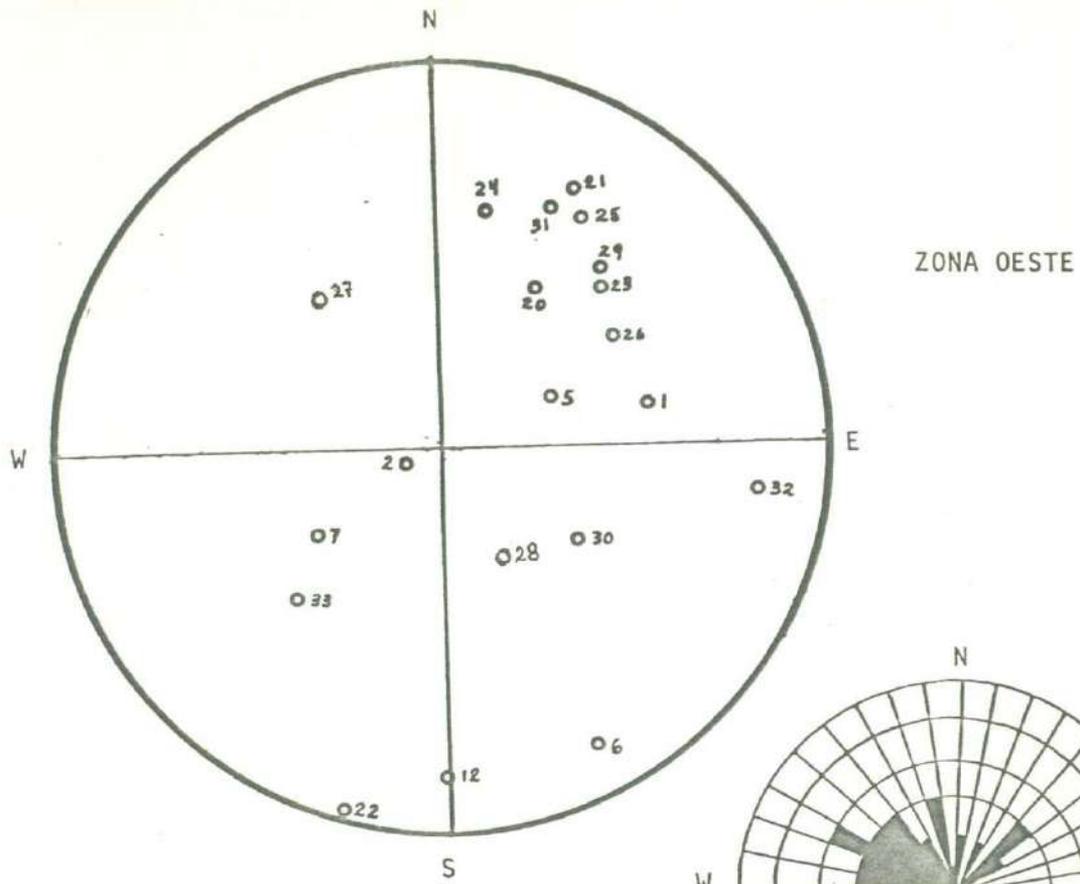
Existe un basculamiento hacia el NE con un promedio de  $20^{\circ}$  de la Fm. Baúca rit que indica que la falla Novillo tiene un buzamiento mayor a profundidad.

En el "graben", a la altura de la Presa "El Novillo", se produjo el desliza miento de un bloque calcáreo considerado como parte de la Fm. Las Tierras, so- bre la Fm. Baúcarit. Este deslizamiento se llevó a cabo posiblemente, a favor\_ de estructuras preexistentes como fallas inversas de bajo ángulo y debido al - desnivel causado por la falla Novillo (Fig. 9, secc. F-F'). Esto indica que el movimiento de las fallas es activo aún después de la depositación conglomeráti- ca considerada del Mioceno.

Diagrama 5.- Fallas Normales.

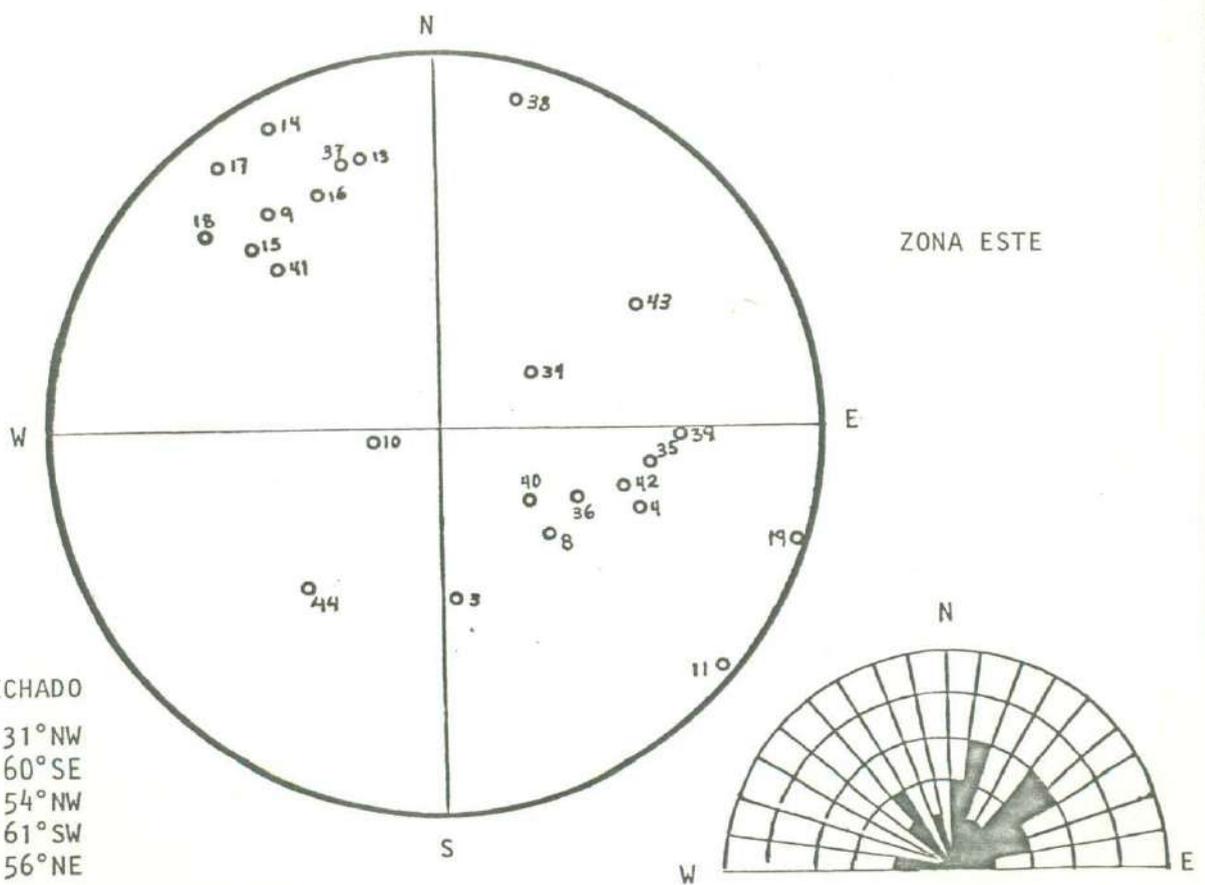
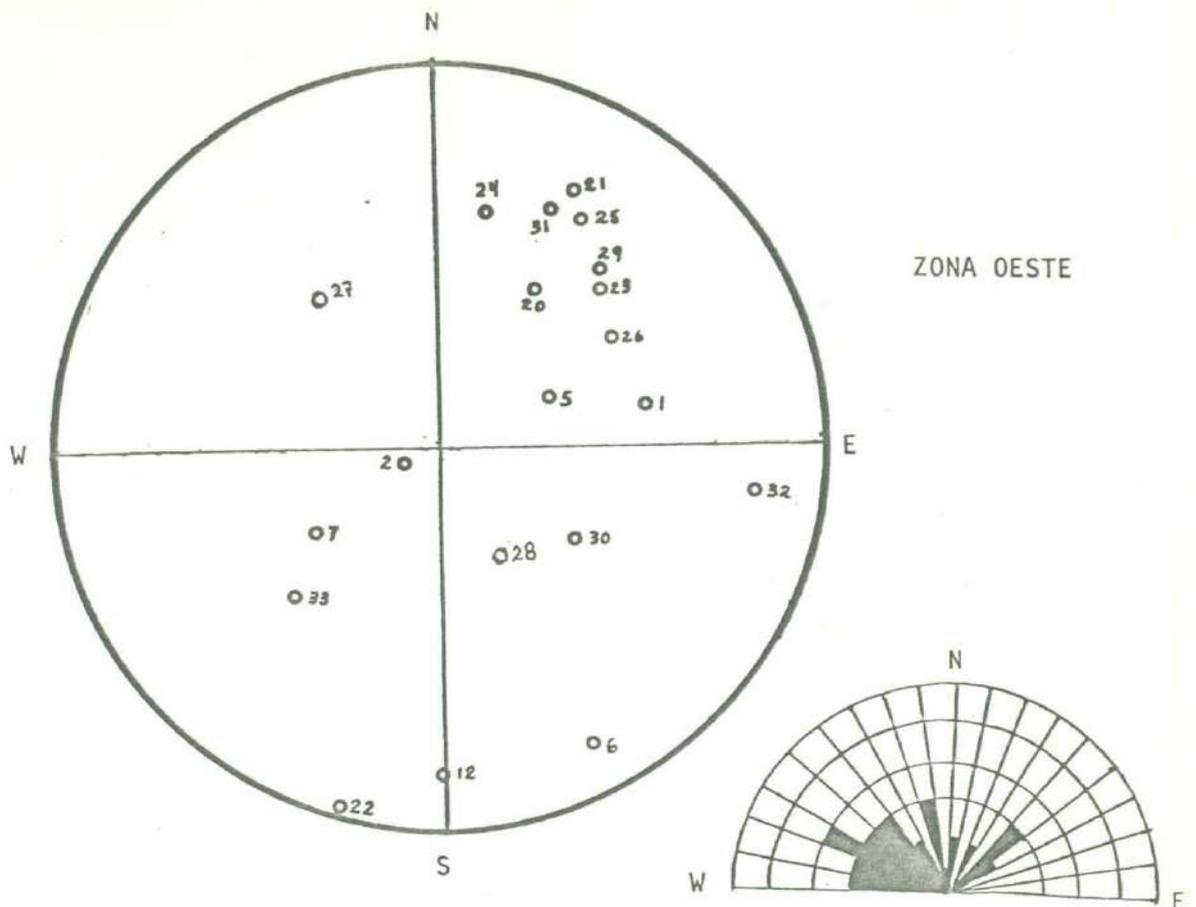
Rumbo	Echado	Rumbo	Echado	Rumbo	Echado
1. $10^{\circ}$ NW	$55^{\circ}$ SW	14. $68^{\circ}$ NE	$86^{\circ}$ SE	27. $52^{\circ}$ NE	$50^{\circ}$ SE
2. $16^{\circ}$ NW	$11^{\circ}$ NE	15. $46^{\circ}$ NE	$70^{\circ}$ SE	28. $52^{\circ}$ NE	$38^{\circ}$ NW
3. $82^{\circ}$ NE	$45^{\circ}$ NW	16. $68^{\circ}$ NE	$70^{\circ}$ SE	29. $52^{\circ}$ NW	$54^{\circ}$ SW
4. $20^{\circ}$ NE	$57^{\circ}$ NW	17. $53^{\circ}$ NE	$86^{\circ}$ SE	30. $35^{\circ}$ NE	$42^{\circ}$ NW
5. $30^{\circ}$ NW	$32^{\circ}$ SW	18. $43^{\circ}$ NE	$76^{\circ}$ SE	31. $65^{\circ}$ NW	$69^{\circ}$ SW
6. $65^{\circ}$ NE	$80^{\circ}$ NW	19. $18^{\circ}$ NE	$90^{\circ}$	32. $5^{\circ}$ NE	$77^{\circ}$ NW
7. $30^{\circ}$ NW	$44^{\circ}$ NE	20. $64^{\circ}$ NW	$49^{\circ}$ SW	33. $41^{\circ}$ NW	$58^{\circ}$ NE
8. $45^{\circ}$ NE	$40^{\circ}$ NW	21. $72^{\circ}$ NW	$68^{\circ}$ SW	34. $36^{\circ}$ SE	$32^{\circ}$ SW
9. $55^{\circ}$ NE	$74^{\circ}$ SE	22. $70^{\circ}$ NW	$90^{\circ}$	35. $5^{\circ}$ NE	$56^{\circ}$ NW
10. $12^{\circ}$ NW	$20^{\circ}$ NE	23. $50^{\circ}$ NW	$59^{\circ}$ SW	36. $22^{\circ}$ SW	$42^{\circ}$ NW
11. $40^{\circ}$ NE	$90^{\circ}$	24. $84^{\circ}$ NW	$66^{\circ}$ SW	37. $75^{\circ}$ NE	$80^{\circ}$ SE
12. $87^{\circ}$ NW	$79^{\circ}$ NE	25. $60^{\circ}$ NW	$71^{\circ}$ SW	38. $80^{\circ}$ NW	$85^{\circ}$ SW
13. $78^{\circ}$ SW	$76^{\circ}$ SE	26. $40^{\circ}$ NW	$50^{\circ}$ SW	39. $2^{\circ}$ NE	$62^{\circ}$ NW

DIAGRAMA 5.- FALLAMIENTO NORMAL.



RUMBO	ECHADO
40.- 30° NE	31° NW
41.- 52° NE	60° SE
42.- 15° NE	54° NW
43.- 34° NW	61° SW
44.- 45° NW	56° NE

DIAGRAMA 5.- FALLAMIENTO NORMAL.



RUMBO	ECHADO
40.- 30°NE	31°NW
41.- 52°NE	60°SE
42.- 15°NE	54°NW
43.- 34°NW	61°SW
44.- 45°NW	56°NE

#### 4) Geología Histórica.

La naturaleza, relaciones y estructuras de las rocas que observamos, nos indican los eventos principales que les han producido y afectado.

Las rocas más antiguas del área, son las potentes secuencias calcáreas, asignadas al Carbonífero, formadas en una plataforma marina necesariamente subsidente, donde proliferaron organismos bentónicos y planctónicos, como equinodermos, briozoarios y celenterados, característicos de mares someros, cálidos y generalmente tranquilos.

Los cambios en las condiciones de sedimentación reflejados en la estratificación, son producidos durante la diagénesis (como nódulos y bandas de pedernal silicificación y dolomitización) y por la acción de microorganismos.

El aporte clástico, en forma de granos de cuarzo y arcillas, aumenta paulatinamente hacia la parte superior de la secuencia (Fm. Las Tierras) hasta que toma lugar una depositación eminentemente detrítica constituida por areniscas y lutitas silíceas de la Fm. Chubisco, que tiene pocas intercalaciones delgadas de calizas. Su litología, así como escasos fósiles marinos preservados, señalan que las condiciones de depositación son similares a las existentes, sin embargo, su carácter indica la presencia de relieves positivos de rocas cristalinas que al erosionarse, aportan el material que las forma. La madurez textural que presentan refleja los procesos de intemperismo del área fuente, importante transporte y retrabajamiento.

El Miembro Toneles, donde los sedimentos pelíticos cuarzo-arcillosos predominan sobre los calcáreos, señalan que la erosión de masas de tierra continúa con mucho transporte, depositándose en ambientes marinos de baja energía cercanos a la costa. Esta sedimentación varía gradualmente, a una depositación de areniscas cuarzosas que en la parte superior contienen intercalaciones de calizas biógenas con fusulínidos y crinoideos (Fm. El Venado), que determinan una edad Leonardiana para la parte superior del grupo.

Los fusulínidos vivieron en ambientes marinos protegidos, de aguas claras, lejos de la costa y ocurren en depósitos de naturaleza cíclica formados durante el avance y retroceso de mares superficiales sobre las plataformas continentales, lo cual es también representado litológicamente en dicha formación.

La formación de los relieves de donde provienen los aportes clásticos así como el cese de la subsidencia, son efectos conocidos en Norte América, y son relacionados a la Orogenia Apalacheana del Paleozoico superior (Dunbar, 1981) y es probable que reflejos de una orogenia similar, produjeron ese cambio en la tranquila depositación carbonatada del Paleozoico inferior-medio.

El microplegamiento observado únicamente en la Fm. Las Tierras puede corresponder a esta etapa, ya que se producen generalmente cuando las rocas carbonatadas acaban de formarse; aunque su ausencia en las formaciones posteriores puede deberse a que carecen de capas pelíticas finas.

Rangin(1978) y Fries (1962) señalan la existencia de orogenias que actuaron en Sonora a fines del Paleozoico y durante el Triásico y las llamaron respectivamente Orogenia Hercínica y Sonorense.

La Fm. Mina México, asignada al Permo-Triásico, marca un cambio en las condiciones de depósito. Su homogeneidad, con predominancia de constituyentes finos y su potente espesor, reflejan un ambiente marino de aguas con poca circulación, como una cuenca o las partes profundas de una plataforma en continuo hundimiento. La carencia de microfósiles es tal vez debida a deficiencia en oxígeno, pudiendo existir sólo organismos pelágicos no observados. El límite inferior de esta unidad es el Pérmico inferior y el límite superior no se conoce.

Todas las formaciones anteriores se ven envueltas en un evento tectónico -- compresivo, con dos fases de plegamiento diferentes en intensidad y estilo. El primero, representado por pliegues recostados con ejes al NW y posible vergencia al NE y SW es correlacionado a la fase Nevadiana u Oregoniana descrita por Rangin (1982) en el N del Estado con características similares, a estas fases se les asigna una edad Jurásico superior y Cretácico medio respectivamente. El segundo estilo de plegamiento lo constituyen pliegues anticlinales y sinclinales de escala mayor que el anterior asignados al Cretácico superior y correlacionables con eventos similares en el N de Sonora.

La potente secuencia constituida por derrames volcánicos y vulcanosedimentarias, plegada y metamorfizada, localizada en la sierra El Novillo, descrita por Menicucci (1975) y Rangin (1982) se considera anterior a la segunda fase de plegamiento y vienen a complementar en parte, el hueco en el registro geológico. En el área, existen delgados derrames volcánicos, que pueden significar remanentes de erosión o facies lejanas de ese vulcanismo.

Posteriormente a esta fase compresiva, tiene lugar la intrusión granítica principal, compuesta de una serie calcoalcalina que va de granito a diorita, lo cual produjo importantes cambios en las rocas, al producir una aureola de metamorfismo mayor de un kilómetro, la extrusión de diques: pegmatíticos, aplíticos y andesíticos, además de proporcionar el calor necesario y los elementos para la circulación de fluidos metasomáticos e hidrotermales.

La mayoría de los plutones de este tipo son sinorogénicos con respecto a los cinturones plegados entre los que ellos yacen (Mattauer,1976). En el área siguen a dos fases de plegamiento y anteceden a una etapa de compresión (fallas inversas).

Una etapa intrusiva representada por rocas máficas y microplutónicas de -- composición intermedia a básica están intrusionadas por rocas graníticas ácidas y metamorfizadas térmicamente, cuya edad de emplazamiento es difícil discernir.

Fallas inversas de diferentes direcciones y echados que cortan a las rocas graníticas y relacionadas a ellas, así como a las metasedimentarias, constituyen la última fase compresiva en el sector. Sus efectos son modestos en magnitud pero se encuentran ampliamente distribuidos. La edad del fallamiento se considera Paleoceno, ya que afecta a las rocas graníticas y no a rocas volcánicas intermedias, atribuidas al Oligoceno-Mioceno.

Las rocas intermedias son el componente principal de un conjunto que abarca coladas, brechas y tobas, cuyas interrelaciones son complejas, ya que son establecidas en un régimen continental con relieves y depresiones causados por la misma edificación volcánica; los primeros sujetos a los procesos de denudación y los segundos funcionando como cuencas de depositación, ocupadas temporalmente por lagos. Estas cuencas fueron cubiertas por brechas volcánicas intercaladas con los derrames y por tobas rojas con estratificación fina.

Después del vulcanismo intermedio, tiene lugar la extrusión del vulcanismo ácido, representado por riolitas, ignimbritas y tobas.

Entre las dos etapas de vulcanismo, existen depósitos de brechas sedimentarias, con algunos derrames volcánicos y vulcanosedimentarios, oscuros y de poco espesor. Estas brechas son muy similares en litología y morfología a aquéllas que se encuentran al pie de la falla Novillo, lo cual sugiere que son formadas en el inicio del fallamiento normal. Son, como se ha mencionado, también la base de las secuencias de conglomerados y brechas sedimentarias de la Fm. Baúcarit.

El fallamiento antes mencionado, se origina a partir del cese de los esfuerzos compresivos, cuando sobreviene el relajamiento de la corteza y, con éste, un conjunto de fallas normales escalonadas de gran magnitud, con rumbo predominante NNW - SSE, formando las estructuras de "horst y graben", es decir, cadenas montañosas y valles entre ellas (Fig. 10). Estas cadenas son a su vez -- cortadas por grandes fallas normales diagonales a las anteriores, producidas -- tal vez por movimientos desiguales de los horst o, en base a su magnitud, relacionadas a la neotectónica que causó la apertura del Golfo de California.

La intensidad y relativa velocidad de esta etapa distensiva, es atestiguada por las secuencias de conglomerados de clastos gruesos de la llamada Fm. Baúcarit depositadas en el graben del río Yaqui.

Una reactivación, o al menos una indicación de que el movimiento no ha ce-



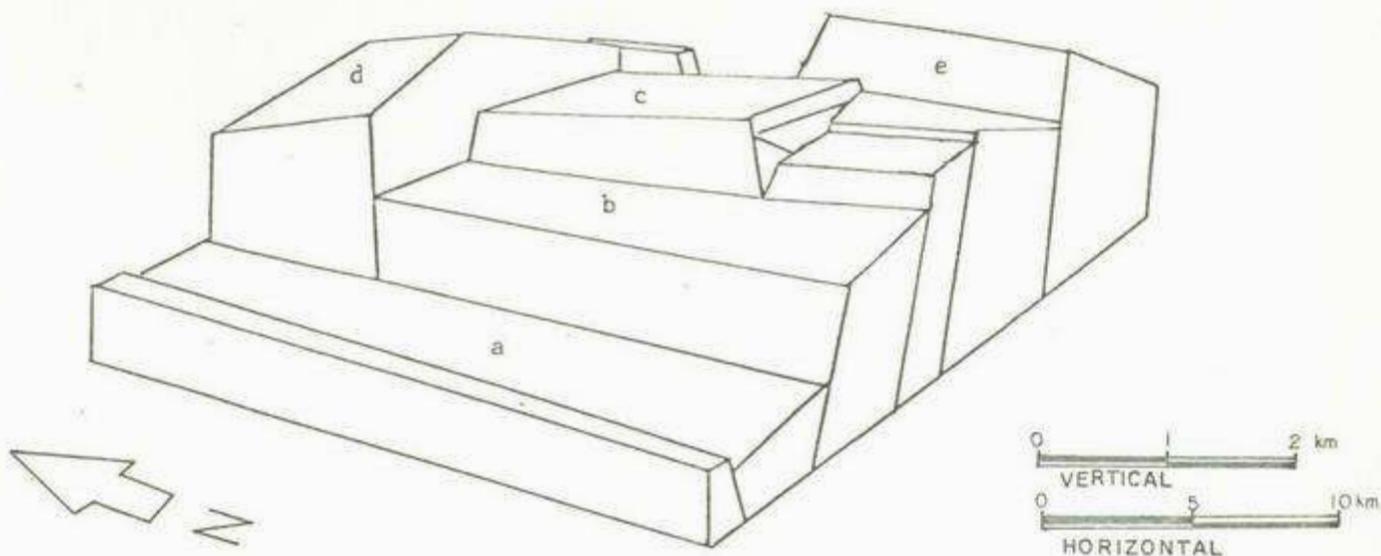


FIG 10.-SISTEMA DE BLOQUES PRODUCTO DE LA TECTONICA DISTENSIVA DE SIERRAS Y VALLES PARALELOS

- a) Graben del Río Yaqui
- b) Semigraben
- c) Horst de la S. La Campanería
- d) Horst de la S. El Batamote
- e) Horst o semihorst de la S. La Zacatera

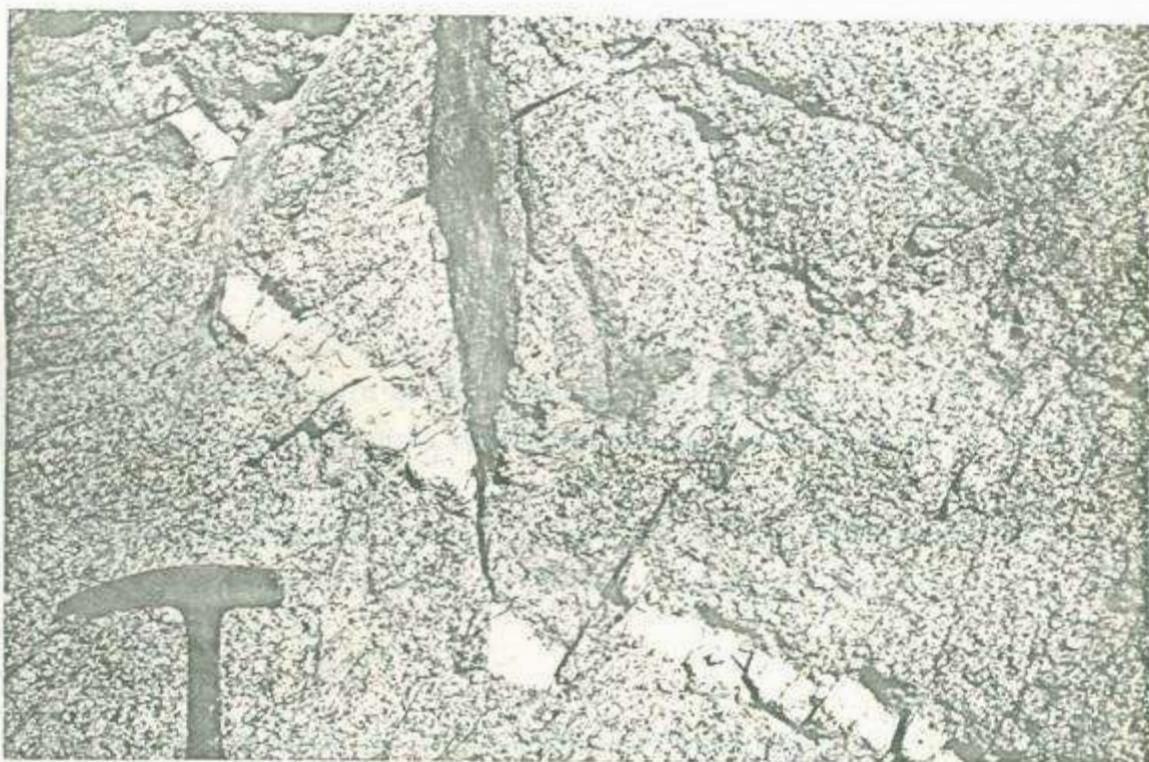


FOTO 20.- Fallas Normales de magnitud reducida, que se observan por el desplazamiento de un dique aplítico que atraviesa al granito. Es una representación a pequeña escala de las estructuras - formadas durante la fase distensiva. (Cerro Peyote)

1961).

Grandes espesores de calizas con bandas y nódulos de pedernal y esporádicas intercalaciones arenosas. Fm. Las Tierras.

Carbonífero\*

Depósitos en plataforma somera.

-cambio en el estilo sedimentario-

Carbonífero-Rímico\*

Orogenia -Levantamiento, formación de relieves. Erosión-Micronlevantamiento.-

sado, es el deslizamiento de un bloque calcáreo paleozoico (Fig. 9, secc. F-F') sobre los conglomerados antes mencionados, los que también son cortados por fallas normales.

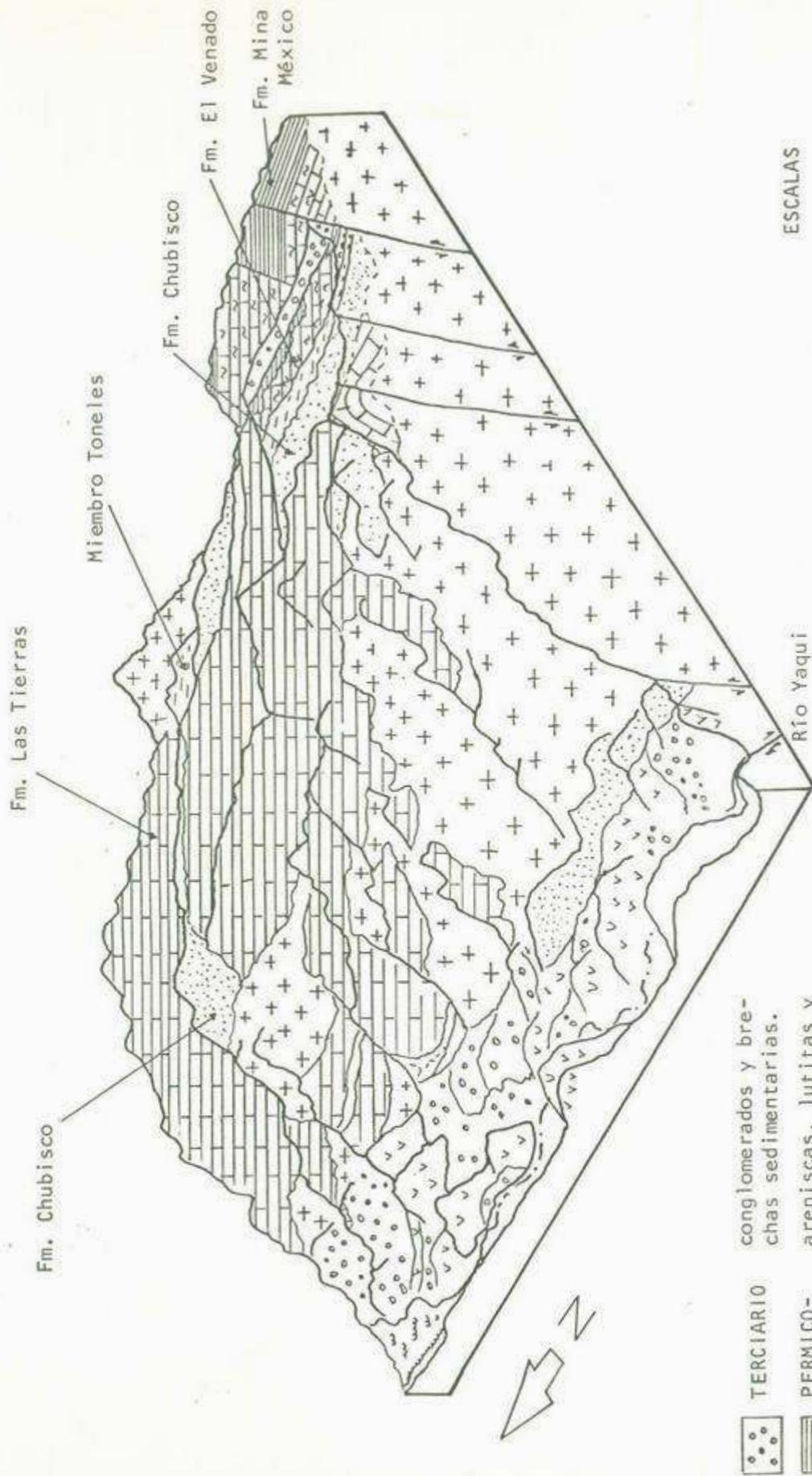
Los rasgos geomorfológicos, indican que el área se encuentra en una etapa juvenil, donde la erosión es el principal proceso activo, mediante un drenaje pluvial en desarrollo.

TABLA RECAPITULATIVA DE LOS EVENTOS OCURRIDOS EN EL SECTOR ESTUDIADO

OBSERVACIONES	EDAD	EVENTO
Lutitas y limolitas silíceas C. Peyote.	Ordovícico*	Depósitos en cuenca marina.
-cambio en el estilo sedimentario-	Devónico - Mississípico*	Fase tectónica que produce levantamiento (Rangin, 1982; Noll, -- 1981).
Grandes espesores de calizas con bandas y nódulos de pedernal y esporádicas intercalaciones arenosas. Fm. Las Tierras.	Carbonífero*	Depósitos en plataforma somera.
-cambio en el estilo sedimentario-	Carbonífero-Pérmico*	Orogenia -Levantamiento, formación de relieves. Erosión. Microplegamiento.-
Areniscas, limolitas, lutitas silíceas en parte carbonosas, con algunos conglomerados. Fm. Chubisco.	Pérmico inferior*	Depósitos detríticos en plataforma marina somera. Regresión marina.
Calizas con intercalaciones de areniscas. Fm. El Venado.	Pérmico inferior	Depósitos en plataforma marina -- con condiciones alternantes de depósito. Transgresión.
Formación Mina México. - Argilitas, areniscas rojas y lutitas	Pérmico Triásico*	Deposición marina en aguas protegidas posiblemente una cuenca o una plataforma profunda. Regresión (?)
-Pliegues recostados isoclinales, de escala decamétrica de ejes NW-SE con vergencias opuestas	Fines del Jurásico ó Cretácico medio*	Orogenia. Posiblemente Fase Nevada o Fase Oregoniana. Efectos compresivos con fallas inversas asociadas. (Rangin, 1982).
Coladas andesíticas	Cretácico inferior*	Posible existencia de un arco volcánico. Fm. Alisitos (Rangin, -- 1982).
-Pliegues anticlinales y sinclinales de gran escala-	Cretácico superior *	Orogenia Laramide. Fase compresiva. Levantamiento regional. Emersión. Regresión de los mares que depositaron las rocas carbonatada en el NE de Sonora.

OBSERVACIONES	EDAD	EVENTO
-Diaclasas-		Diaclasamiento tectónico producto de compresión
Dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos.	Cretácico-Paleoceno*	Intrusión granítica diferenciada de extensión batolítica.
-Metamorfismo-		Metamorfismo de contacto generalizado de grado medio-bajo.
-Diaclasas-		Diaclasamiento de retracción por enfriamiento de las rocas ígneas.
Diques andesíticos, pegmatíticos y de cuarzo.	Paleoceno*	Formación de los yacimientos tipo skarn e hidrotermales.
- Fallas inversas de reducido desplazamiento-	Paleoceno*	Fase compresiva tangencial. (Último evento de la Orogenia Laramide en Sonora).
Andesitas, tobas y brechas volcánicas.		Vulcanismo intermedio representado por coladas, diques y fases explosivas, depositadas en un medio continental.
Brechas vulcanosedimentarias, coladas y conglomerados.	Oligoceno-Mioceno*	Etapas vulcanosedimentaria, finalización del vulcanismo intermedio.
Riolitas, riolacitas, ignimbritas, brechas y tobas		Vulcanismo ácido en forma de coladas gruesas, fases explosivas de nubes ardientes. Edificación de la Sierra Madre Occidental.
-Fallas normales con rumbos variables y de deslizamiento asociadas.-	Mioceno-Plioceno*	Fase distensiva de Sierras y Valles Paralelos (Basin and Range).
Conglomerados con algunas brechas y tobas intercaladas.	Mioceno*	Depositación continental en las cuencas producidas por el evento distensivo antes mencionado, el que produce igualmente los relieves de donde provienen los clastos constituyentes.
Coluviones y Aluviones	Plioceno-Cuaternario.*	Depósitos continentales, etapa erosiva.

\* Las edades relativas están basadas en observaciones de las relaciones de las rocas y estructuras en el campo y por correlación con otros trabajos realizados en Sonora y Arizona.



	conglomerados y breccias sedimentarias.		TERCIARIO VOLCANICO
	areniscas, lutitas y argilitas.		TERC-CRET. PLUTONICO.
	Calizas y areniscas intercaladas.		CRETACICO VOLCANICO
	areniscas y lutitas silíceas.		
	Mármol con pedernal y corneanas		

andesitas, breccias, tobas  
riolitas, ignimbritas.  
Granito, granodiorita,  
tonalita, diorita.

Andesitas.

ESCALAS



FIG. 11.- DISTRIBUCION DE LOS CONJUNTOS DE ROCAS EN EL SECTOR ESTUDIADO.

## V.- YACIMIENTOS MINERALES.

### 1) Introducción.

Las manifestaciones de tungsteno en el Estado de Sonora son abundantes, en los mapas de provincias metalogenéticas realizados en México, la que corresponde al tungsteno se sitúa principalmente como una franja que se extiende N-S atravesando Sonora y parte de Sinaloa.

Estos indicios pertenecen a diferentes tipos de yacimientos, los cuales se clasifican y definen en forma general dentro de este capítulo.

Con respecto a los yacimientos minerales en el área de estudio, se hicieron reconocimientos en las labores mineras, actualmente abandonadas o en receso de explotación, con el fin de establecer el patrón metalogenético de éstos. Se hará énfasis en la mina La Norteña por presentar condiciones geológicas y económicas de interés.

### 2) El Tungsteno en Sonora.

Sonora ha aportado aproximadamente el 85 % de tungsteno a nivel nacional, le siguen en importancia los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa y Guerrero.

En el estado de Sonora fué encontrado y explotado poco antes de la Primera Guerra Mundial, en la región de San Nicolás y Santa Ana Mpio. de Yécora, como diques de pegmatitas y en El Trueno, Mpio. de Obregón, en yacimientos de placer.

Un nuevo auge se produce al iniciarse la Segunda Guerra Mundial. Se descubren yacimientos de tungsteno en skarns en regiones cercanas a Hermosillo; desde esas fechas se han realizado estudios sobre diferentes depósitos de este mineral.

Anteriormente, la industrialización del tungsteno en México fué muy limitada, por lo que la producción se ha destinado a la exportación en forma de concentrados con 40-70 % de  $WO_3$  y como mineral con 31 - 55 % de  $WO_3$ .

Las exportaciones en 1980 fueron principalmente a los Estados Unidos, Japón y Venezuela ( C.R.M. 1980).

El tungsteno se utiliza principalmente en la formación de aleaciones para la industria, sobre todo en la industria del armamento por lo que es considerado un metal estratégico.

Lamentablemente, este mineral se ve afectado por las bruscas variaciones del mercado las cuales en nuestro carácter de productores de materias primas no podemos mitigar. Así, la minería de tungsteno en Sonora se caracteriza por épo

cas alternantes de depresión y de bonanza, que coinciden con las principales épocas de conflictos mundiales, como la Segunda Guerra Mundial, las guerras de Corea y Vietnam, antes de la integración de China al mercado mundial ya que este país es el exportador más importante y el que posee las reservas mayores de tungsteno.

A esta fluctuación de los precios se debe la irregular explotación de los yacimientos.

Sin embargo la creciente industrialización del país, con un volumen de tungsteno de 132 ton. al año no satisfecho y las estimaciones del incremento de la demanda (80 % anual) permite suponer una mejor etapa para la explotación de estos yacimientos.

### 3) Tipos de Yacimientos de Tungsteno en Sonora.

La característica esencial de los yacimientos de tungsteno es su relación casi constante con rocas ígneas más o menos ácidas, principalmente plutónicas (granitos en su sentido amplio) y menos frecuentemente con rocas volcánicas (riolitas, etc.).

En el caso de plutones ácidos, el tipo de yacimiento depende principalmente de la naturaleza de la roca encajonante, formándose filones de wolframita y a veces scheelita, en roca no calcáreas y skarns casi exclusivamente con scheelita en roca calcáreas.

Han sido realizadas varias clasificaciones de los yacimientos de tungsteno desde principios del siglo, sin embargo, la más actualizada y exhaustiva es la efectuada por Burnol, Geffroy y Soler (1978) basados en una agrupación anterior hecha por Denisenko (1975). Esta clasificación se basa principalmente en la morfología del depósito (relación espacial entre las diferentes unidades que lo conforman) y la paragénesis (Apéndice B, inciso 2 b). Es en base a esta clasificación que se describen los yacimientos en Sonora.

Una compilación de los principales depósitos explotados o en explotación en el estado de Sonora, fué hecha por uno de los autores de este trabajo (Araux 1982) quién los clasifica en base a su morfología en skarns, brechas de colapso asociados a pórfidos, pegmatitas y cuerpos filonianos asociados a cúpulas graníticas y depósitos de placer, los cuatro primeros tipos están obviamente vinculados con las rocas plutónicas, por lo cual quedan incluidos en el Grupo A) de la clasificación de Burnol et al (1978).

### a) Skarns.

**Definición.** Estos yacimientos se reconocen básicamente por la naturaleza de su ganga que consiste de una mezcla de silicatos anhidros e hidratados de los elementos Ca, Mg, Fe, Mn y son de grano relativamente grueso.

Se encuentran ampliamente distribuidos en el territorio sonorense y actualmente contienen las principales reservas de este mineral.

**Morfología y Estructura.** Se sitúan generalmente en el contacto de una roca plutónica granítica (monzonita cuarzosa, granodiorita, granito) y una roca encajonante calcárea y/o dolomítica, aunque ambas condiciones no son siempre indispensables. Su desarrollo en los contactos es independiente de la estratificación.

Estructuralmente Burt y Petersen (1974) diferencian tres tipos: skarns alrededor de la intrusión, intrusión alrededor de skarn (colgantes o remanentes del techo "roof pendants") y skarn sin intrusión aparente. En Sonora se han estudiado skarns del primero y segundo tipo.

**Génesis.** Se reconocen varios estadios en la formación de los skarn, comenzando por una intrusión granítica la que produce un metamorfismo (de contacto o regional), que da lugar a condiciones físicas de porosidad en la roca encajonante, lo cual permite el paso de los fluidos metasomáticos, que circulan principalmente a lo largo de los despegamientos en los contactos, por fracturas, juntas de estratificación, etc.

Algunos autores distinguen los skarn de los skarnoides en base a que los fluidos en estos últimos se propagan a lo largo de las fracturas o juntas, produciendo un aspecto pseudo-estratiforme o bandeado.

Se establece entonces que los fluidos han circulado a lo largo del contacto granito-roca encajonante. Se tiende a pensar en un origen mixto: magmático y meteórico para dichos fluidos (Burt, 1975; Burnol et al 1978).

Se consideran temperaturas para la formación de los skarns de 400 a 700 °C con una fase hidrotermal tardía de 200 a 500 °C (Shimazaki, 1980).

La presión es baja de 1 a 2 kb según Burnol (1978) para el yacimiento de Salau en Francia, pero Einaudi y Newberry (1981) consideran que condiciones de alta temperatura y sobretodo una presión moderada (hasta 3.5 kb), son necesarias para la depositación del tungsteno en los skarns.

Las condiciones para la génesis de los skarns portadores de tungsteno están presentes en el NW de México: potentes secuencias carbonatadas o calcáreas arcillosas del Paleozoico y Cretácico inferior, son intrusionadas por grandes

cuerpos graníticos del Cretácico superior-Terciario, produciendo una amplia zona favorable a su formación.

Paragénesis. Los minerales son principalmente granates (anhidros), piroxenos (diópsida - hedenbergita), epidota, idocrasa, wollastonita. Cuando la roca encajonante tiene magnesio (dolomías o calizas arcillosas) pueden formarse: magnesita, forsterita, talco, tremolita, diópsida y serpentina. La abundancia de Fe y Mn produce minerales más oscuros lo cual distingue a los skarns de las corneanas calcosilicatadas. La mineralización es casi exclusivamente de scheelita puesto que las condiciones químicas -abundancia de calcio- así lo restringen, - se asocia generalmente con molibdenita.

Posteriormente se depositan sulfuros como pirita, calcopirita, pirrotita y esfalerita reemplazando minerales del skarn.

Un estadio hidrotermal tardío suele afectar a los minerales del skarn hidratándolos produciendo: ilvaíta, actinolita, cummingtonita, clorita, serpentina y zeolitas, a veces halógenos y boratos como fluorita, escapolita, datolita y abundante cuarzo y calcita.

Ejemplo en Sonora. El Jaralito Baviácora.

La región de Baviácora ha sido una de las mayores productoras de  $WO_3$  en el Estado. Actualmente está en receso de explotación. El área de El Jaralito se localiza en la parte central norte de Sonora, entre las coordenadas  $29^\circ 40'$  -  $29^\circ 46'$  de latitud N y  $110^\circ 12'$  -  $110^\circ 15'$  de longitud W. El acceso lo constituye la carretera Hermosillo - Baviácora y un camino de terracería hacia el oeste a 19 km. de dicho poblado, además cuenta con una pista aérea en El Jaralito.

Consiste de una serie de techos colgantes estrechamente espaciados de rocas metasedimentarias fuertemente intrusionadas por rocas del Terciario temprano correspondientes al batolito de Aconchi (Peabody, 1979).

Las rocas metasedimentarias son las más antiguas expuestas en esta región, asignadas al Paleozoico medio y superior, están formadas por corneanas pelíticas y calcosilicatadas, esquistos pelíticos, cuarcitas, conglomerados predominando los estratos de mármoles donde las rocas anteriores se encuentran intercaladas.

Existe una gran variación composicional en las rocas intrusivas como granito, granodioritas y dioritas. También una microdiorita oscura que intrusiona las rocas metasedimentarias y cuya relación con las rocas graníticas es ambigua, según Chávez (1976) es posterior a las rocas del Batolito. Diques de aplita y pegmatitas asociados con el batolito son ubicuos e intrusionan claramente todas

las rocas mencionadas. Estos diques a su vez son cortados por otro sistema de diques andesíticos y lamprofídicos.

Estructuralmente se definen dos tipos de pliegues uno con rumbo E-NE y replegados con ejes N-S. Los metasedimentos plegados isoclinalmente y la microdiorita se encuentran fuertemente foliados. Supone Peabody (1979) que la edad de este plegamiento es posterior a las rocas graníticas, ya que parece afectarlas. Menciona también cuatro episodios de fallamiento.

Las rocas encajonantes son principalmente mármoles con diópsida y flogopita y mármoles con bandas calcosilicatadas con grosularita + wollastonita. Los fluidos metasomáticos dan lugar a bandas de piroxeno rodeadas por idocrasa + wollastonita + mármol, con cantidades pequeñas de scheelita.

La scheelita se asocia con tres minerales: primero con idocrasa (no económico), con granate rojo y diópsida (importante económicamente).

Morfológicamente el skarn ocurre de tres maneras:

- contacto simple entre rocas graníticas y mármol.
- a lo largo de juntas de estratificación.
- a lo largo de los contactos entre la microdiorita y el mármol.

En un estadio hidrotermal tardío no bien desarrollado se tiene:

- Vetillas de alteración con anfíbol + clorita + epidota y centros de scheelita + sulfuros + cuarzo + calcita removilizada.
- Venas de epidota, también como alteración del granate.
- calcita en vetillas.
- piroxeno reemplazado por actinolita.

Los fluidos portadores de tungsteno penetran a lo largo de la interfase mármol-calcosilicato para formar el skarn, así que la abundancia de éstas, incrementan la efectividad de la roca metasedimentaria para contener tungsteno, según Peabody (1979).

#### b) Pegmatitas.

Definición. Roca ígnea de grano grueso (mayor de 3 cm.), generalmente son de composición granítica.

Se han explotado pegmatitas con scheelita y wolframita pero no corresponden más que a tonelajes mínimos de tungsteno. En muchas pegmatitas graníticas potásicas, sódicas y con tierras raras, la wolframita, a veces la scheelita existen pero no intervienen más que como elementos asociados, no obstante se han recuperado.

El interés teórico de las pegmatitas es por su composición (presencia nota

ble de topacio, turmalina, berilo, apatito, minerales líticos) ellas recalcan la transición entre los granitoides y los yacimientos hidrotermales. Parece -- que frecuentemente el estadio pegmatítico no es más que la primera etapa de una asociación de yacimientos hidrotermales con cuarzo wolframita (Burnol et al , - 1978).

En el sur de Sonora, las pegmatitas han producido la mayor parte de  $WO_3$ , - sin embargo en la actualidad los yacimientos conocidos están casi agotados además de presentar leyes muy bajas sus reservas (Wiese, Cárdenas, 1946).

Los principales yacimientos se encuentran hacia el E del río Yaqui en las regiones de San Nicolás, Santa Ana y Santa Rosa en el Mpio. de Yécora.

Morfología y Estructura. Las pegmatitas, según definiciones generales, se emplazan en forma de diques, grietas de ruptura y en fisuras de separación con pendiente fuerte; en depósitos estratiformes y lenticulares cuando la estratificación tiene buzamiento abrupto y en forma de stocks y cuerpos tubulares en la roca encajonante (Whitten et al, 1980).

Se ha notado que los diques pegmatíticos principales se emplazan en sentido perpendicular al rumbo de la compresión. En el caso de Sonora, la mayoría de los diques se emplazan en cuarcitas, rocas volcánicas y en el mismo granito, y no penetran mucho en la roca encajonante. Generalmente las pegmatitas son -- más resistentes que las rocas que las rodean (granito) y se destacan sobre la superficie del terreno en forma de lomas de poca elevación.

Génesis. Se sugiere que estos yacimientos se forman a partir de fluidos - hidrotermales residuales, enriquecidos en volátiles y recristalizados al inyectarse o emplazarse en grietas a gran profundidad de la superficie. Se relacionan genéticamente con granitoides y yacen en diversos tipos de rocas, incluso - en las mismas rocas graníticas. Se engendran según Volfson (1982) a profundidades medias entre 4 y 6 km. por lo que la erosión es un factor importante en la localización de este tipo de yacimientos.

Paragénesis. La mineralogía principalmente es de cuarzo y ortoclasa, pudiendo incluir muscovita, fluorita, hornblenda, epidota, pirita , topacio, magnetita, esfena, turmalina, berilo, apatito, minerales líticos, etc. La mineralización puede ser wolframita o scheelita, la cual se presenta en cristales anhedrales regulares, excepto en pequeñas cavidades donde adquiere la forma típica piramidal. A veces el calcio de la scheelita es reemplazado por cobre dando lugar a cuprotungstita.

Ejemplo en Sonora. Minas La Cruz y San Julián, Mpio. de Yécora.

La mina la Cruz fué explotada desde antes de 1910 por cobre y posteriormente por tungsteno.

Se encuentra localizada al SE del pueblo de San Nicolás, muy cerca del camino a Yécora.

Se trata de un dique de pegmatita que sobresale topográficamente del granito, el cual tiene una composición monzonítica y cuya edad probable es Cretácico superior. Mineralógicamente está constituido por cuarzo, biotita, flogopita, turmalina, feldespatos, pirita, calcopirita, bornita, molibdenita y scheelita.

La scheelita se ha encontrado en grandes bolsas asociada a cantidades mínimas de molibdenita, el cual no ha sido económicamente explotable. La explotación se llevó a cabo superficialmente y por socavones, al parecer sus reservas se encuentran agotadas.

La mina San Julián es parte del conjunto mineralizado de Los Verdes, el cual se describe posteriormente en lo referente a conjuntos filonianos.

Esta mina fué explotada alrededor de 1943 por medio de pequeños tajos abiertos y concentraciones con polveadoras del material del terrero y pequeños placeres en el arroyo. Está constituida por hilos y venas pegmatíticas entrecruzadas en una granodiorita con facies monzo y cuarzomonzoníticas. La mineralogía es de cuarzo, ortoclasa, biotita, sericita, molibdenita, pirita, calcopirita y el portador exclusivo de W es la scheelita.

### c) Yacimientos Filonianos.

Son yacimientos de alta temperatura cuya génesis está relacionada comúnmente a roca graníticas. Dentro de la clasificación de Burnol, se conocen tres tipos principales que se diferencian básicamente por su morfología, no así por su paragénesis. Son los stockworks, los conjuntos filonianos y los pipes. Los yacimientos filonianos de cuarzo con tungsteno son muy distribuidos, constituyen las tres cuartas partes de las reservas mundiales (China principalmente).

Definición. Filón es un término básicamente morfológico, se trata de cuerpos tabulares o en forma de lámina, con minerales que han sido introducidos en la roca por una diaclasa o fisura o por un sistema de diaclasas y fisuras.

Stockworks es un conjunto de fisuras ramificadas, debidas a una fracturación muy fina, rellenas de múltiples filones delgados, mineralizados y discontinuos. La roca encajonante es en general poco transformada. El término no se aplica a sistemas de pequeña escala como los que pueden producirse en zonas bre-

chificadas. Por sus características de baja ley y gran volumen, se explotan masivamente.

"Brechas pipes" son cuerpos vagamente cilíndricos con un diámetro de .60 a 20 m. o más, que pueden alcanzar longitudes de 200 hasta más de 500 m. (Pilares de Nacozari, Son.). Son producidos al parecer, por hundimientos en una cámara magmática, lo cual produce brechamiento en la roca encajonante.

Contrariamente a los skarns que se desarrollan en un medio carbonatado, estos filones cortan generalmente los sedimentos esquistosos o arenosos o sus equivalentes más o menos metamorfizados, así como a las rocas intrusivas o extrusivas más antiguas que aquéllas con las que están asociados; sin embargo, se conocen casos de filones cuarzosos con tungsteno que cortan a series carbonatadas en este tipo el mineral portador es la scheelita.

Por otra parte los filones de cuarzo con scheelita pueden estar encajonados en los granitos, como en el yacimiento de Barrueco Pardo en España (Burnol et al 1978).

Los stockworks se producen en las rocas encajonantes (micaesquistos, se -- cuencias volcánicas o vulcanosedimentarias). Pueden formarse muy cerca de los conjuntos graníticos a los cuales se asocian o no tener ninguna relación visible con ellos.

Los "pipes" se asocian estrechamente a los macizos graníticos en su borde, localizándose tanto en el granito como en la roca encajonante. Aunque en ocasiones la roca intrusiva no se observa en el área del yacimiento, como en la -- brecha Washington, Mpio de Huépac.

Génesis. La mayoría de los conjuntos filonianos de cuarzo con tungsteno, se asocian espacialmente y tal vez en su génesis, a rocas plutónicas de composición granítica que se localizan cerca de sus contactos con la roca encajonante, en ocasiones en el endocontacto pero más frecuentemente en el exocontacto.

Paragénesis. Comprende principalmente cuarzo, al cual pueden asociarse -- turmalina, topacio, muscovita, apatito, fluorita, raramente berilo, siderita, - dolomita y clorita. Como elementos calcófilos y siderófilos: casiterita, estanita, molibdenita, bismutinita, pirita, pirrotita, esfalerita, la arsenopirita es con frecuencia abundante. Los sulfuros argentíferos, galena y barita son raros (Burnol et al 1978).

En los stockworks la paragénesis es menos variada limitándose en ocasiones a cuarzo y wolframita.

En general la wolframita es el portador dominante a la cual se asocia fre-

cuentemente la scheelita, en ocasiones este último puede ser el portador exclusivo de W.

Ejemplo en Sonora. Mina Los Verdes.

En este yacimiento coexisten varias presentaciones morfológicas como brechas "pipes", filones, pegmatitas y una pequeña zona de stockwork. Se pueden encontrar así, superpuestos varios tipos de mineralización correspondientes a cada uno de los estados sucesivos en el emplazamiento.

Se encuentra en el Distrito de Sta. Ana Mpio. de Yécora, la vía de acceso la constituye la carretera pavimentada Hermosillo-San Nicolás, de donde parte una desviación hacia Yécora y otra hacia Sta. Ana .

La principal característica geológica es la presencia de un intrusivo de dimensiones batolíticas el cual intrusióna rocas volcánicas cretácicas de composición andesíticas. La composición del batolito es granodiorítica con facies de monzonita y cuarzomonzonitas y se considera de edad laramídica. Las rocas volcánicas cretácicas se encuentran cubiertas en gran parte por rocas volcánicas ácidas del Terciario (Caliens, 1975).

Como estructuras más importantes sobresalen alrededor de 100 brechas hidrotermales descubiertas por la erosión, que formó una "ventana" en las rocas volcánicas. Estas brechas se encuentran en el contacto entre intrusivo y cobertura afectando a ambas rocas, aunque sin mezcla evidente entre ellas. Tienen forma de chimeneas ("pipes") casi verticales con áreas elípticas, con longitudes de hasta 800 m. y anchuras máximas de 150 m. Existen dos lineamientos uno NE 50° a 80° SW que concuerda con el lineamiento de las brechas y otro con rumbo N-S evidentemente postmineral.

El yacimiento de Los Verdes se localiza en la brecha de Sta. Ana, constituida por clastos de rocas volcánicas fuertemente alteradas, con matriz formada por turmalina, cuarzo y micas, producidas por alteración hidrotermal fílica en la parte media y superior del cuerpo. La parte inferior presenta una matriz producida por alteración potásica, presente en forma de ortoclasa, biotita, turmalina y cuarzo.

Vetas de cuarzo mineralizadas cortan la brecha, lo cual sugiere al menos dos etapas de hidrotermalismo .

Alteración saussurítica afecta la granodiorita y no parece tener relación con la mineralización (Caliens, 1975).

La mineralización económica es molibdenita, calcopirita, bornita, wolframita, calcosita, covelita y digenita.

La zonificación horizontal al parecer está ligada a diferentes etapas de mineralización que producen una secuencia paragenética y por variaciones de temperatura en las soluciones hidrotermales.

Se distinguen tres zonas: una zona de tungsteno en la parte occidental, con wolframita dominante asociada a turmalina con pequeñas cantidades de pirita galena y esfalerita con óxidos de cobre y molibdeno.

Una segunda zona en la parte central, de cobre - molibdeno - tungsteno y por último, la zona de molibdeno con molibdenita, scheelita y pirita, con cantidades menores de galena, esfalerita y tetrahedrita.

El principal control de la mineralización es la brecha, la cual fué un centro de alta permeabilidad y porosidad, lo que facilitó la difusión de las soluciones, las cuales ascendieron a través de fracturas del intrusivo granodiorítico.

#### d) Depósitos de Placer.

Definición. Se denomina placeres, al material aluvial, eluvial y coluvial que contiene cantidades de interés económico de un mineral valioso. Generalmente tiene lugar la concentración del mineral. Muchos placeres se derivan de depósitos primarios como filones, stockworks y skarns.

Los minerales que se depositan en placeres son aquellos que presentan características físicas de resistencia al desgaste y químicas como la resistencia a la alteración. Entre los más comunes se encuentran la scheelita, wolframita, powelita, casiterita, oro, etc.

En el Estado de Sonora, este tipo de yacimientos de tungsteno se conocen desde poco antes de la Primera Guerra Mundial, en El Nacimiento, Mpio de Cájeme

El mineral explotado es powelita acompañada de pequeñas cantidades de scheelita.

Existe la presencia de scheelita de grano grueso en las gravas del río Yaqui (hacia el norte del poblado La Dura), sin embargo, estos yacimientos (El Nacimiento y La Dura) se encuentran agotados (Wiese y Cárdenas, 1946).

Es posible encontrar nuevos depósitos de placer en la planicie del río Yaqui, ya que es ésta, la cuenca mayor donde drenan muchos de los arroyos que atraviesan las serranías con contenidos en tungsteno, como es el caso del área estudiada.

#### 4) Yacimientos Minerales de la Sierra La Campanería.

##### a) Mina La Norteña.

Localización y Vías de acceso. Se encuentra en una de las porciones más elevadas de la sierra La Campanería, corresponde a las coordenadas  $28^{\circ} 51' 26''$  de latitud N y  $109^{\circ} 30' 12''$  de longitud W.

La vía de acceso es el camino de terracería que parte a 500 m. del Torreoncito hacia el SE, que comunica el Rcho. Las Tierras y termina en la mina La Norteña (ver plano 2).

Historia. La búsqueda de los minerales se ve intensificada en las épocas de grandes bonanzas. Es así como el tungsteno fué ampliamente prospectado por gambusinos en Sonora Central en los años sesentas. Dicha prospección se hizo sobre los arroyos con ayuda de lámparas de luz ultravioleta .

En 1967 fué descubierta la zona mineralizada que hoy corresponde a la mina La Norteña, siguiendo aguas arriba los aluviales del arroyo el Aliso .

El lote La Norteña cuenta con trabajos periciales y título de exploración siendo concesionario el Sr. Edgardo Villalobos. Cuenta con una planta de beneficio con capacidad de 60 - 80 Ton/día ubicada sobre el arroyo los Alisos, así mismo con casas habitación, un almacén y comedor para albergar 40 personas además de agua potable. En la mina existen dos polvorines reglamentarios y una casa.

La explotación ha sido a tajo abierto, sin ninguna planeación en las obras mineras, trabajando de 1967 a 1968, reiniciando labores en 1980 y suspendidas en 1982 hasta el presente. En la planta ha existido el problema de recuperación metalúrgica, siendo en ocasiones menor al 60 %.

Geología del Yacimiento. El yacimiento es de tipo skarn o metasomático de contacto. Las rocas originales son mármoles grises, mármoles con bandas y nódulos de pedernal y corneanas. Estas rocas corresponden a la parte media superior de la Formación Las Tierras. Afloran también areniscas con intercalaciones de lutitas silíceas negras con algunos horizontes de mármol, presentando una estratificación gruesa, pertenecientes a la Fm. Chubisco.

Las rocas graníticas no fueron observadas en el área de la mina con excepción de un pequeño afloramiento de una roca máfica de grano medio.

Algunos diques de composición andesítica con fenocristales de hornblenda cortan el skarn y la roca encajonante, la anchura de estos diques es menor de un metro.

Numerosos diques pegmatíticos y vetas de cuarzo son conspicuos en el área

de la mina, los primeros compuestos esencialmente de cuarzo, ortoclasa, plagioclasa, biotita, muscovita, granate y en ocasiones scheelita.

→ Morfología y Estructura. La mina se localiza en el parteaguas de la sierra a 1480 m. de altura y abarca la cima de tres cerros contiguos. En el cerro central se localiza la zona más importante de explotación existiendo tres tajos llamados La Grande, El Puerto y La Dura ; en el cerro situado al sur de éste se localiza un pequeño tajo al cual llamaremos No. 1 y en el cerro situado más al norte se localiza el tajo que denominamos No. 2. Caminos de terracería comunican todas las partes de la mina.

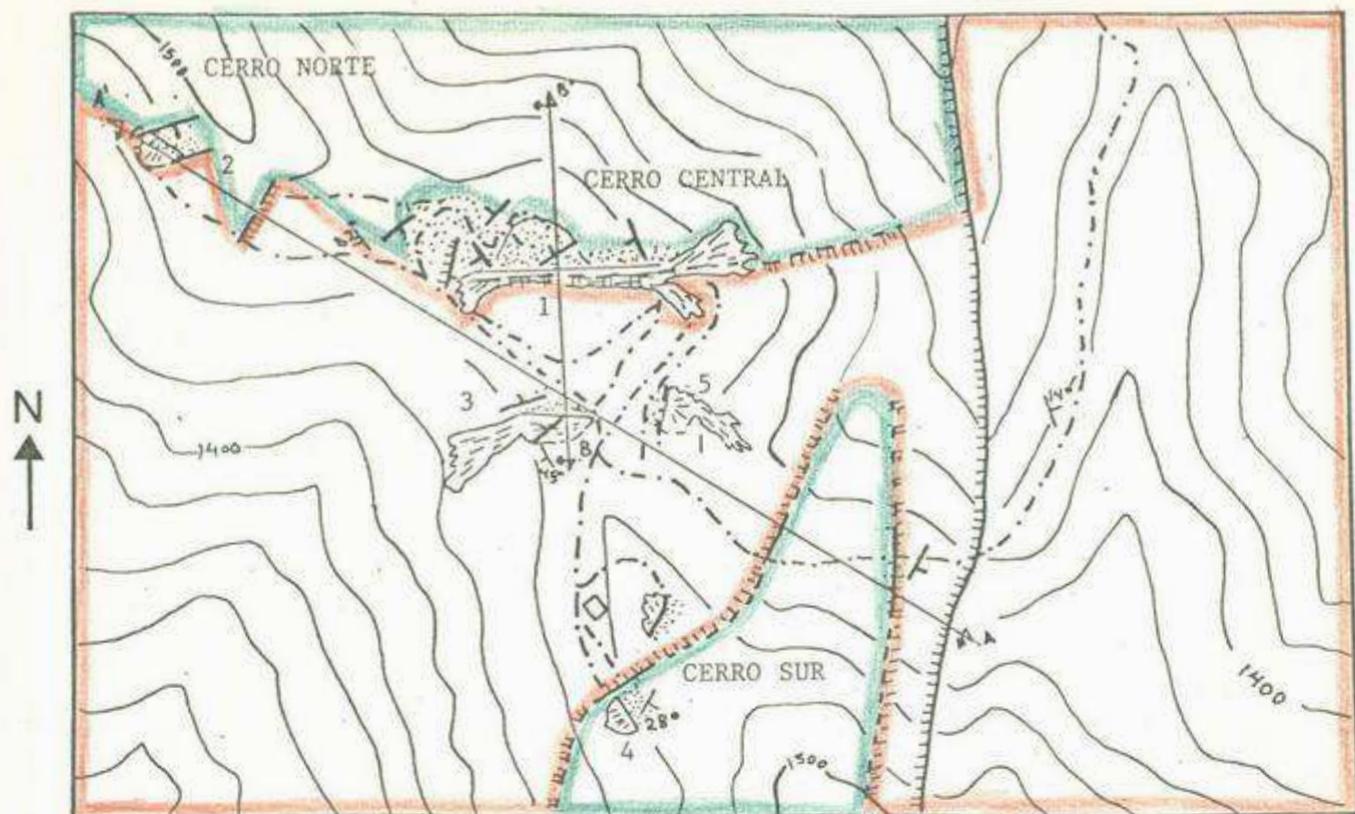
Las laderas tienen pendientes muy pronunciadas. Hacia el este se encuentra el inicio de los afluentes del arroyo el Aliso y hacia el oeste los afluentes del arroyo los Alisos.

Las relaciones estructurales entre las dos unidades metasedimentarias involucradas son complejas (Fig. 13 A). Los echados indican la existencia de un anticlinorio cuyos ejes son NNW-SSE que contiene otros pliegues de escala decamétrica, este plegamiento está relacionado a eventos compresivos asignados al Cretácico .

Existen dos sistemas principales de diaclasas representadas en el diagrama 6, uno con dirección NW 5°-35° SE y echados de 60° a 90° SW en el cual se emplazan diques andesíticos y pegmatíticos, el otro con rumbo NE 34°-60° y echados de 40° a 80° NW el cual es aprovechado por diques pegmatíticos (Fig. 16 C). Este fracturamiento es anterior a la circulación de los fluidos magmáticos por lo que debe relacionarse al plegamiento y/o a los esfuerzos producidos durante el emplazamiento granítico .

Es común el fallamiento inverso de bajo ángulo, incluso pequeños cabalgamientos, que afectan tanto a las rocas sedimentarias como a los sistemas de diques que las atraviesan (Figs. 13 y 16). Estas estructuras son atribuidas a efectos compresivos paleocenos. Se reconocen tres sistemas de fallas en etapas sucesivas que se muestran en el diagrama 7 .

El primer sistema tiene rumbos que varían de 20°-50° NE y echados entre 21°-45° NW, desplazan a diques básicos y pegmatíticos ; el segundo sistema con rumbos NW 15°- 45° y echados de 20° - 30° NE y de 30°- 50° SW corta a pegmatitas y diques básicos, emplazados a veces en el sistema anterior de fallamiento. El tercer sistema es un fallamiento inverso de gran ángulo con rumbo NW 80°- NE 80° y echados de 75°- 85° S, desplaza a vetas de cuarzo principalmente. Estos sistemas de fallamiento inverso coinciden con las observaciones generales en el área.



 Fm. Las Tierras: Mármoles con pedernal y corneanas.

 Fm. Chubisco: areniscas y lutitas negras y pardas.

1.- TAJO LA GRANDE

2.- TAJO No. 2

3.- TAJO EL PUERTO

4.- TAJO No. 1

5.- TAJO LA DURA

ESCALA 1 : 5 000

 Zona mineralizada

 Tajo y Terrero.

 Falla normal      las líneas indican el buzamiento

 Falla inversa

 Rumbo y Echado de las capas

 Secciones

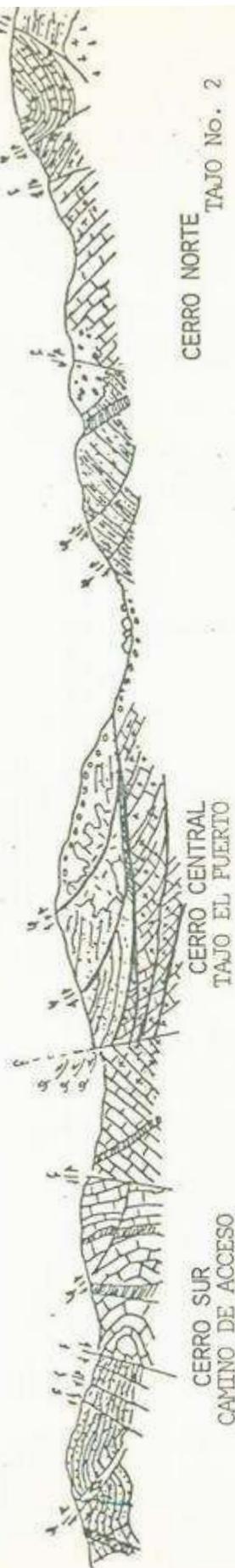
 Camino

 Casa

 Curvas de Nivel cada 20 m.

FIG.12.- PLANO DE LA MINA LA NORTEÑA

SECCION ESQUEMATICA COMPUESTA A-A'



CERRO SUR  
CAMINO DE ACCESO

CERRO CENTRAL  
TAJO EL FUERTO

CERRO NORTE  
TAJO No. 2

 Arenisca con intercalaciones de lutita negra. Fm. Chubisco.

 Areniscas y lutitas limolíticas muy alteradas. A veces con sulfuros.

 Mármol blanco y gris y corneanas. Fm Las Tierras

 skarn y skarnoides.

 Intrusivo microdiorítico

 Diques volcánicos básicos

 Zonas de metasomatismo y alteración.

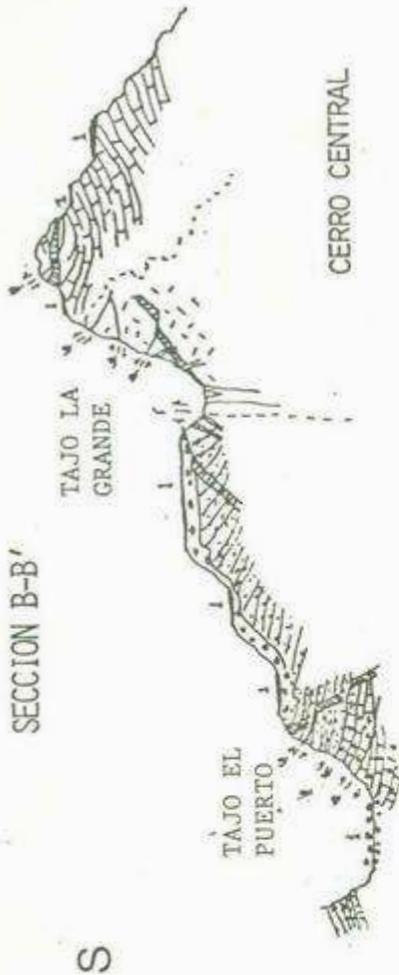
 Cubierta Aluvial

 Fallamiento normal

 Fallamiento inverso.

Escala aproximada 1 : 2500

SECCION B-B'



S

N

 Mármoles y corneanas con bandas y nódulos de peder-nal

 Skarnoide

 Skarn y zonas de meta-somatismo.

 Areniscas limolíticas.

 Diques volcánicos básicos

 Diques pegmatíticos y de cuarzo

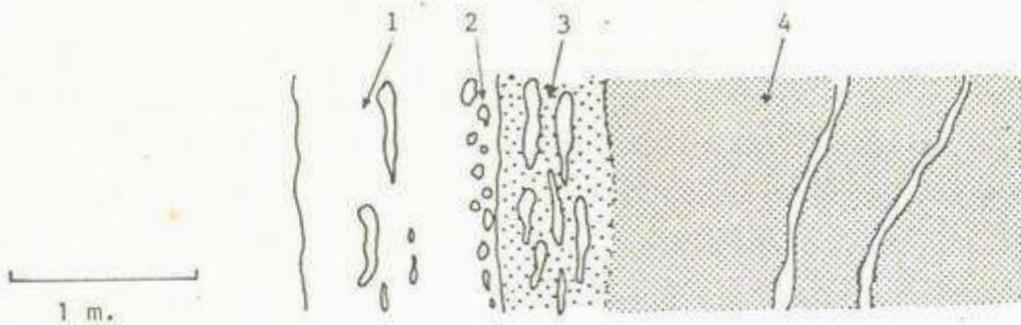
 Fallamiento normal

 Fallas inversas

 Planilla

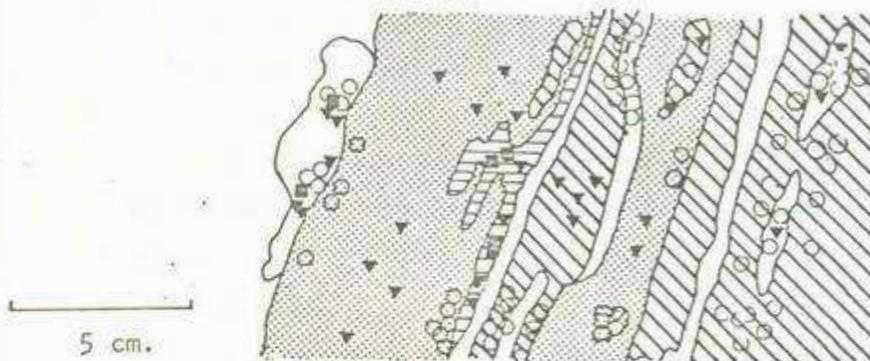
Escala horizontal  
0 25 50 m.

FIGURA 13 .-



A.- ZONA DE TRANSICION ENTRE UNA PEGMATITA Y UN SKARN

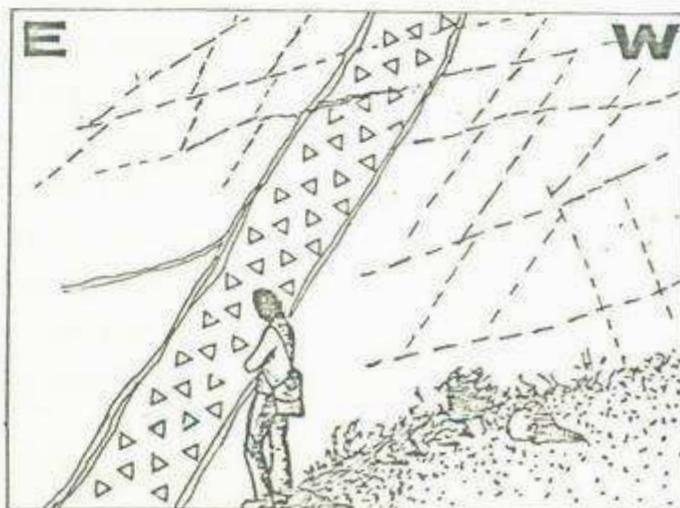
- 1.- Pegmatita cuarzofeldespática con scheelita, micas, calcita yeso y pirita.
- 2.- Pequeña zona con granate y poca diópsida dentro de la pegmatita
- 3.- Zona intermedia donde predomina el granate con bolsas de cuarzo.
- 4.- Skarn de diópsida y granate cortado por vetillas de cuarzo y scheelita.



- Zona de diópsida (Czo. epi) y sulfuros
- Zona con granate (epi)
- Zona con epidota (sulfuros)
- Zona con cuarzo

- Enriquecimiento de granate
- Enriquecimiento de diópsido
- Enriquecimiento de sulfuros (dio, czo, epi)

B.- DISTRIBUCION MINERALOGICA DENTRO DE UN SKARNOIDE.

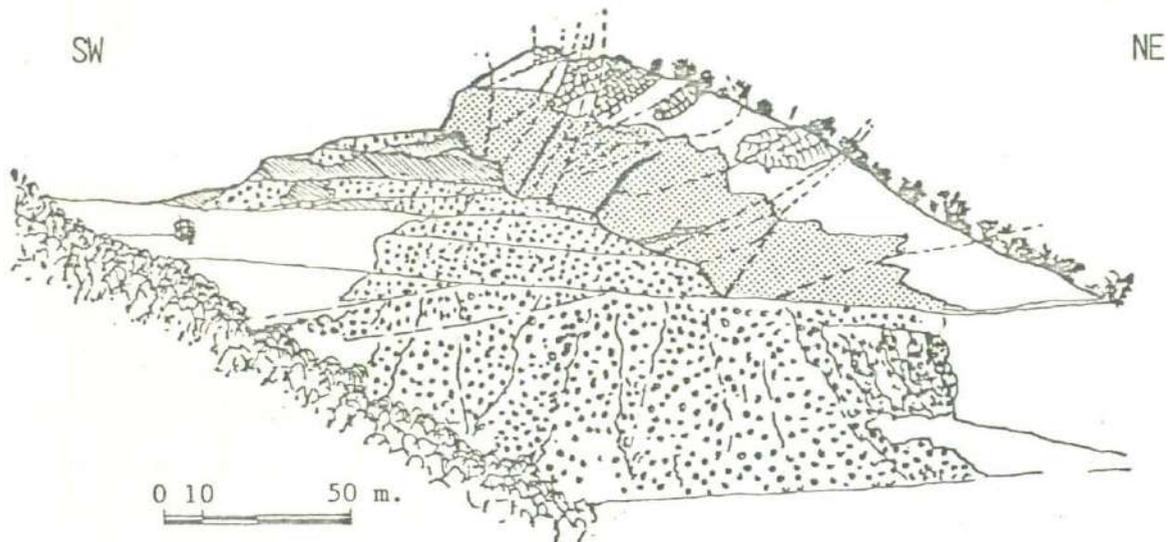


- Dique básico
- Vetilla cuarzo-feldespática
- Diaclasas

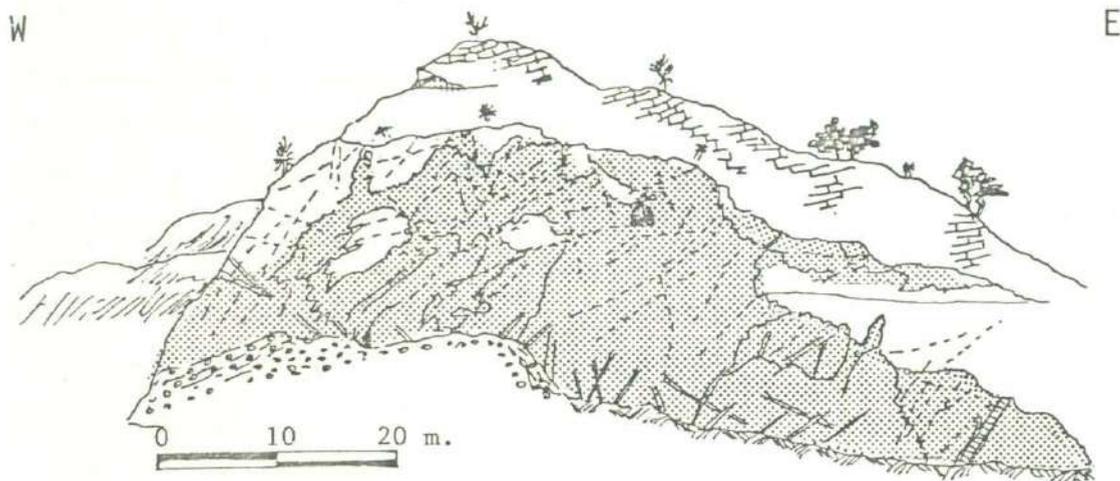
C.- RELACION ENTRE DIQUES BASICOS, CUARZOFELDESPATICOS Y DIACLASAS

FIG. 15

VISTA GENERAL AL NW DEL TAJO LA GRANDE



TAJO LA GRANDE  
VISTA AL NORTE



- |  |   |
|--|---|
|  Terreros                                |  Diques básicos      |
|  Areniscas y lutitas<br>Fm. Chubisco.    |  Diques pegmatíticos |
|  Mámoles y Corneanas<br>Fm. Las Tierras. |  Fracturas y Fallas  |
|  Skarn y zonas de Metasomatismo          |   |

FIGURA 14.-

alteración formada a lo largo de las fracturas que ha producido una roca de color verde claro afanítica. Los límites entre las zonas son graduales.

Tajo El Puerto.

En este tajo se observan dos zonas claramente distinguibles, la parte superior se encuentra cabalgando mediante una falla inversa, con rumbo NE 50° y echado 25° NW, igualmente otras fallas inversas asociadas cuya dirección varía

Fallas normales de tipo distensivo cortan la secuencia. Una de ellas de longitud kilométrica y salto relativamente reducido atraviesa la parte oriental del área de la mina con rumbos NW 10° y echado al SW; fallas asociadas a ésta, se observan sobre el camino, poco antes de llegar a la mina y ponen en contacto mármoles plegados de la Fm. Las Tierras con areniscas de la Fm. Chubisco (Fig. 13 A). Existe otra falla importante con una dirección aproximada E-W paralela al tajo La Grande, en el campo esta falla confronta las dos unidades metasedimentarias, pero la traza está oculta por los terreros (Fig. 13 B).

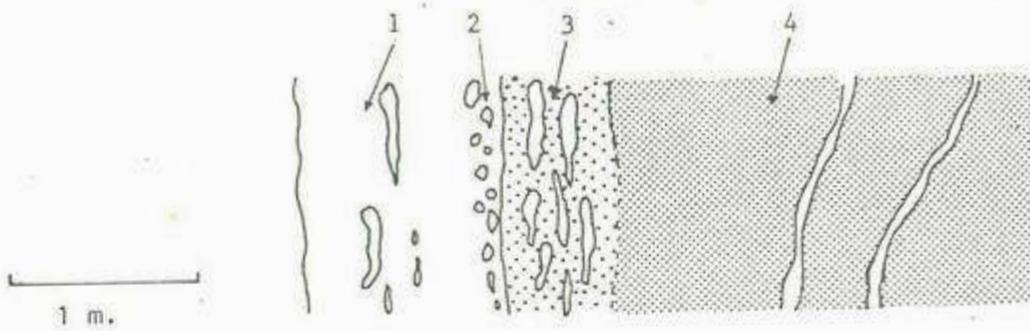
Descripción de Los Tajos. Existen dos formas en que los fluidos metasomáticos circularon en la roca encajonante, produciendo por tanto dos morfologías diferentes de skarn: 1) a lo largo de la estratificación dando lugar a bandas de minerales paralelas y alternantes, que cubren toda la roca encajonante como en los tajos No. 2 y El Puerto, o a bandas mineralizadas estratiformes intercaladas con bandas no metasomatizadas de roca encajonante como en el tajo No. 1 (skarnoides). La 2) es a lo largo de diaclasas y fallamiento, formándose los skarns y zonas mineralizadas cortando la estratificación de la roca encajonante esto es notable en los tajos No. 1 y La Grande.

#### Tajo La Grande.

Es el tajo principal (Fig. 14), tiene una dirección aproximada E-W, en su pared norte se observa un intenso fracturamiento que corta las diferentes zonas. En la parte oeste aflora un mármol blanco, en la parte este una corneana con cuarzo y un poco de granate, cortado por un dique andesítico con fenocristales de hornblenda (Fig. 15 C), a ambos lados de este dique existen vetas pegmatíticas que siguen su misma dirección. En la parte central se trata de un skarn de granate (Lám. No. NR-9 y 10) cortada por numerosos diques de pegmatitas de hasta un metro de espesor. En ocasiones las pegmatitas presentan una clara zonificación hacia la roca encajonantes (Fig. 15 A), con bandas alternantes de granate verde, rojo y calcita. En la parte superior del tajo es evidente una fuerte alteración formada a lo largo de las fracturas que ha producido una roca de color verde claro afanítica. Los límites entre las zonas son graduales.

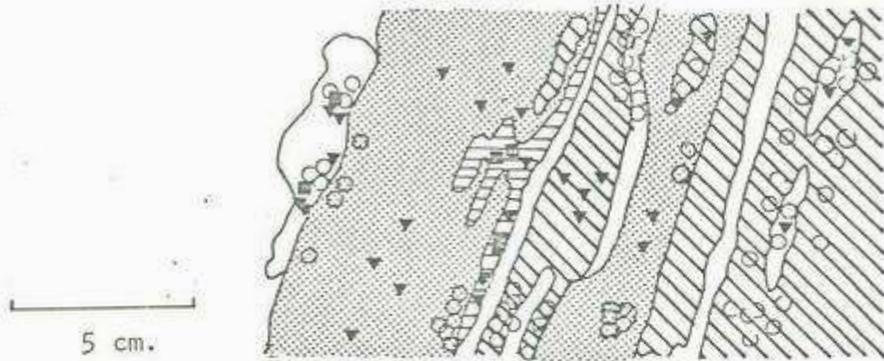
#### Tajo El Puerto.

En este tajo se observan dos zonas claramente distinguibles, la parte superior se encuentra cabalgando mediante una falla inversa, con rumbo NE 50° y echado 25° NW, igualmente otras fallas inversas asociadas cuya dirección varía entre 45°-80° NE y echados 21°-25° NW, la cual está constituida de cuarcitas y



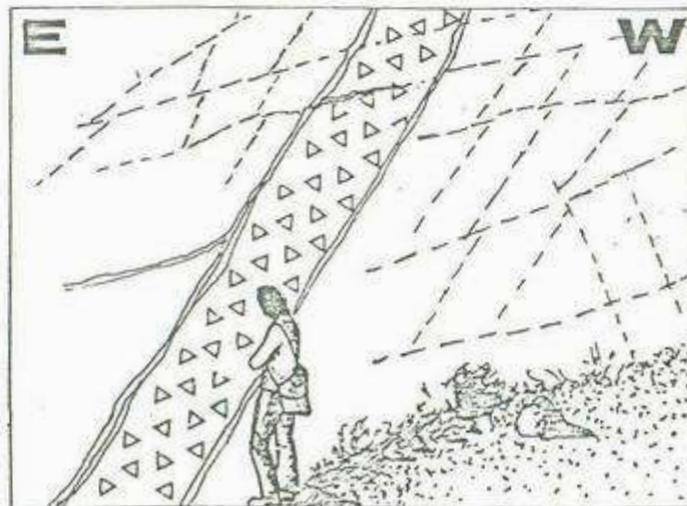
A.- ZONA DE TRANSICION ENTRE UNA PEGMATITA Y UN SKARN

- 1.- Pegmatita cuarzofeldespática con scheelita, micas, calcita yeso y pirita.
- 2.- Pequeña zona con granate y poca diópsida dentro de la pegmatita
- 3.- Zona intermedia donde predomina el granate con bolsas de cuarzo.
- 4.- Skarn de diópsida y granate cortado por vetillas de cuarzo y scheelita.



B.- DISTRIBUCION MINERALOGICA DENTRO DE UN SKARNOIDE.

- Zona de diópsida (Czo. epi) y sulfuros
- Zona con granate (epi)
- Zona con epidota (sulfuros)
- Zona con cuarzo
- Enriquecimiento de granate
- Enriquecimiento de diópsido
- Enriquecimiento de sulfuros (dio, czo, epi)



C.- RELACION ENTRE DIQUES BASICOS, CUARZOFELDESPATICOS Y DIACLASAS

- Dique básico
- Vetilla cuarzo-feldespática
- Diaclasas

FIG. 15

rocas con fuerte alteración metasomática e hidrotermal, está muy fracturada - (fig. 16 A).

La parte inferior está formada por un skarnoide con bandas minerales de -- granate verde, rojo, cuarzo, epidota y diópsida (Lám. No. MN-14 ZA). Otros mine-- rales que siguen bandas selectivas son scheelita, pirita y esfalerita (Fig. 15 B). Esta zona es cortada por pequeñas vetas cuarzo-feldespáticas y de cuarzo - que intersectan el bandeamiento del skarnoide que tiene un echado de 45° al SW.

#### Tajo No. 1.

Afloran aquí tres zonas de skarnoide formadas por la circulación de flui-- dos a lo largo de juntas de estratificación, se encuentran intercaladas con dos horizontes de mármol blanco con estratificación media con rumbo NE 78° y echado 28° SE, existe una zona de skarn formada a ambos lados de las fracturas, relle-- nas de sílice que cortan diagonalmente las rocas estratiformes (Fig. 16 B).

En la parte occidental esta secuencia está en contacto por medio de una fa-- lla normal con areniscas de cuarzo de grano fino de la Fm. Chubisco.

En su parte oriental es cortada por un dique andesítico con fenocristales de hornblenda de medio metro de espesor.

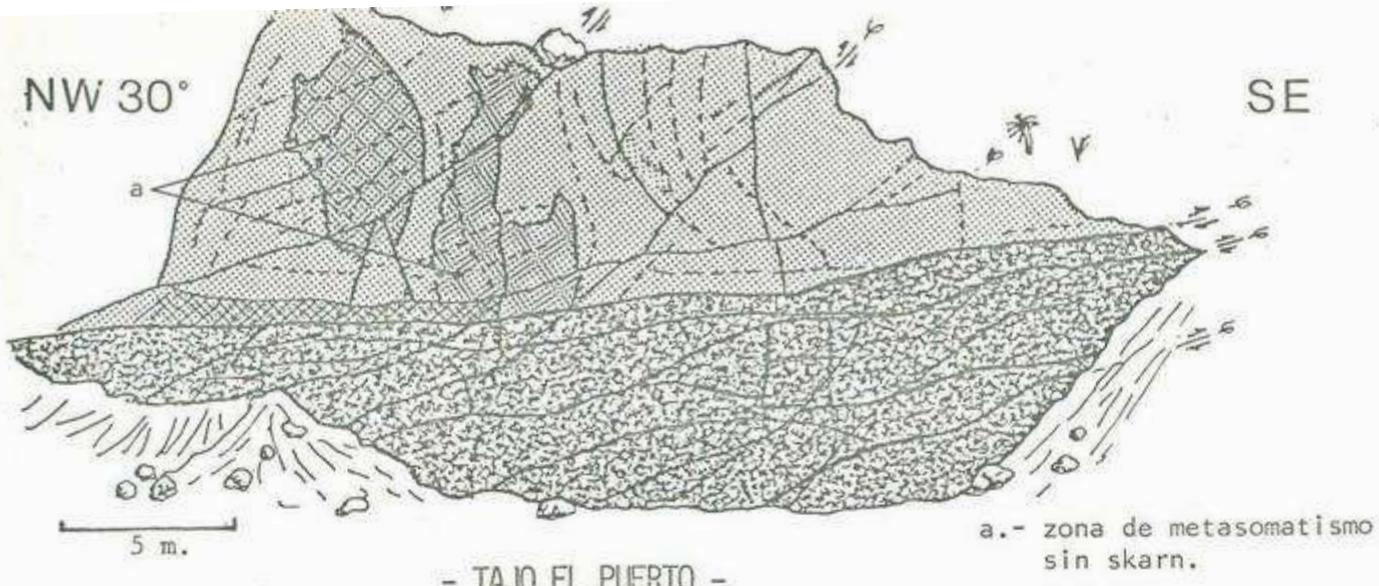
Las bandas del skarnoide están formadas principalmente de granate rojo, -- calcita, cuarzo y mineralización de sulfuros (pirita, esfalerita) y scheelita. El mármol tiene granates verdes, rojos y feldespatos potásicos en una masa gra-- nuda de calcita.

#### Tajo No. 2.

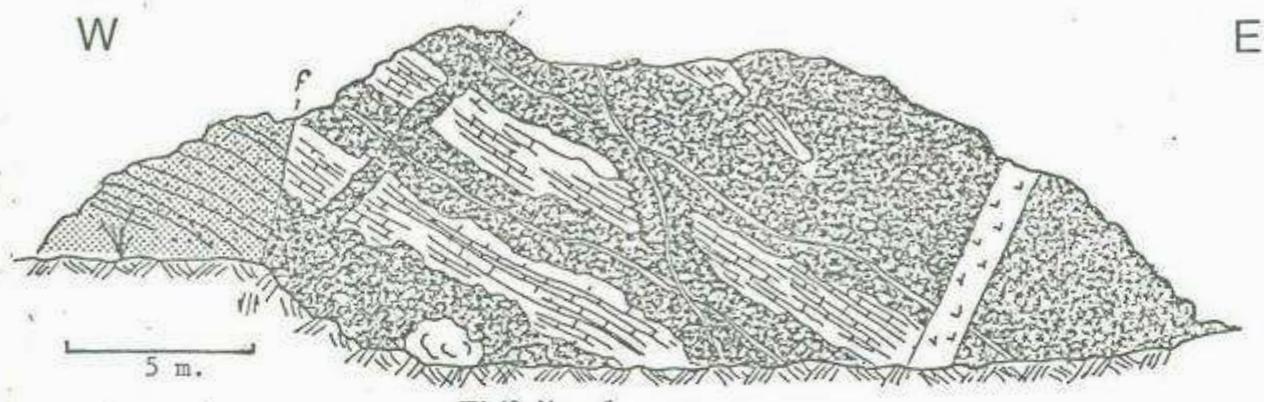
Es un pequeño tajo donde se observan dos niveles (Fig. 16 C). En el supe-- rior (Nivel 1) se encuentra un skarnoide (Lám. No. 24 MNR) cuyo bandeamiento pa-- rece seguir un plegamiento preexistente, sus bandas son similares a las de los otros skarnoides. En la parte oeste está en contacto por falla inversa con una arenisca con bandas limolíticas amarillas y con una microdiorita oscura (Lám. - No. MNo 21).

En la parte oriental una zona de fracturación separa el skarnoide de una a-- renisca limonítica metamorfizada con mineralización de pirita, calcopirita y -- marmatita, está cortada por vetillas de sílice y muy alterada. Una veta de -- cuarzo centimétrica corta las rocas ígneas y metamórficas que a su vez es des-- plazada por una falla inversa. En el nivel dos aflora una corneana con biotita y cuarzo además del intrusivo máfico.

Mineralización y Fracturas. Con las diferentes observaciones a lo largo

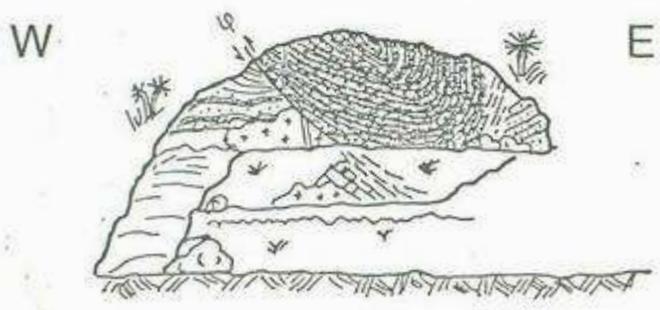


- TAJO EL PUERTO -



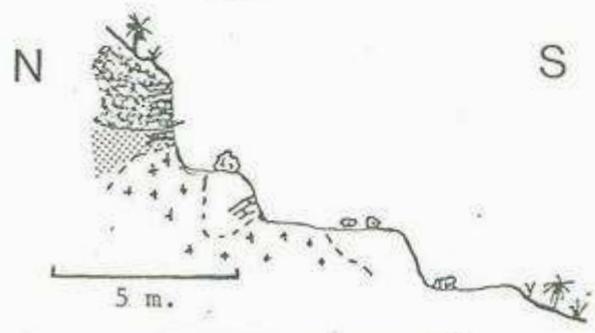
- TAJO No. 1 -

- |  |   |  |                                       |  |               |
|--|---|--|---------------------------------------|--|---------------|
|  | Areniscas y lutitas limolíticas (F. Chubisco) |  | Microdiorita                          |  | Falla inversa |
|  | Mármol y corneana (Fm. Las Tierras)           |  | Diques básicos                        |  | Falla normal  |
|  | Skarn y skarnoide                             |  | Vetas de cuarzo y cuarzofeldespáticas |  | Fracturas     |
|  |   |  |                                       |  | Terreros      |
|  |   |  |                                       |  | Suelo         |



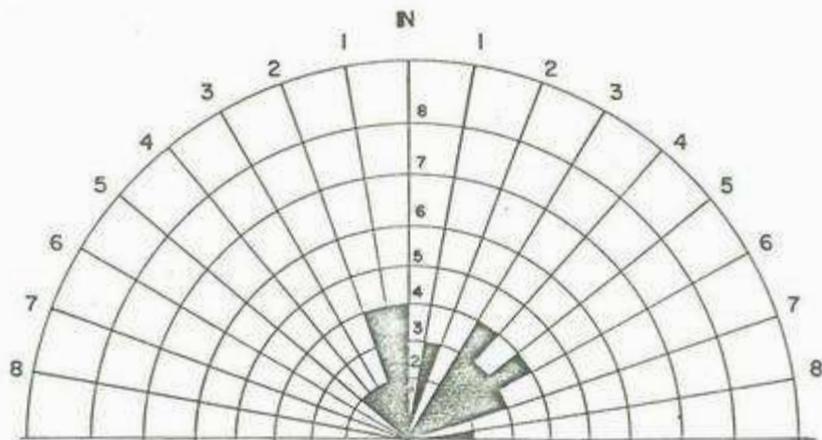
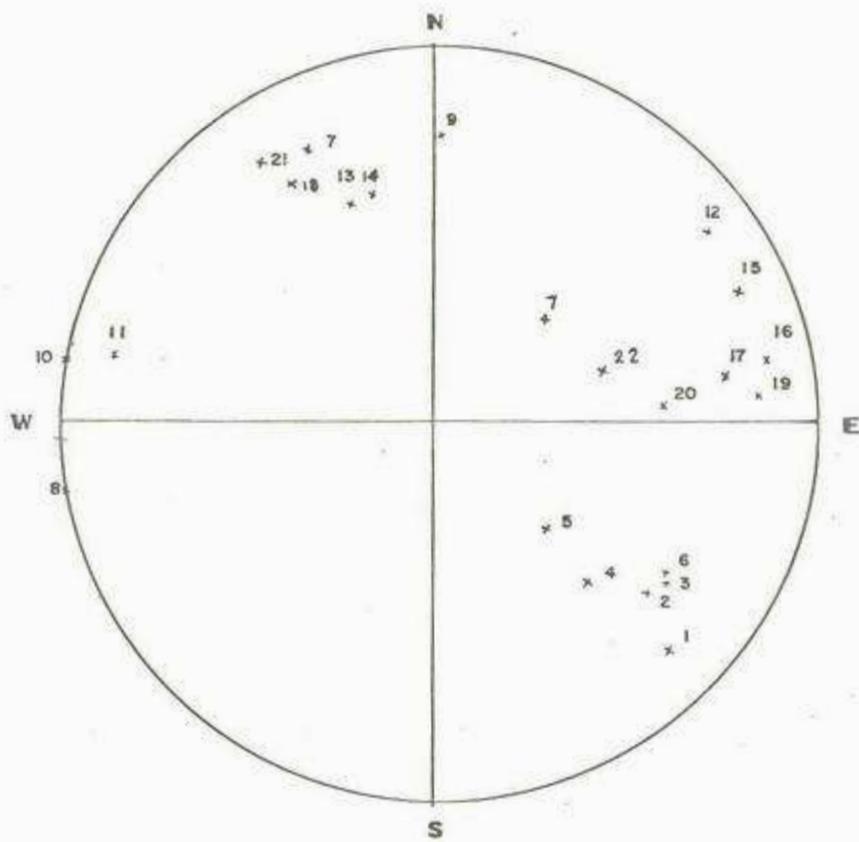
SECCION TRANSVERSAL

- TAJO No. 2 -



SECCION LONGITUDINAL

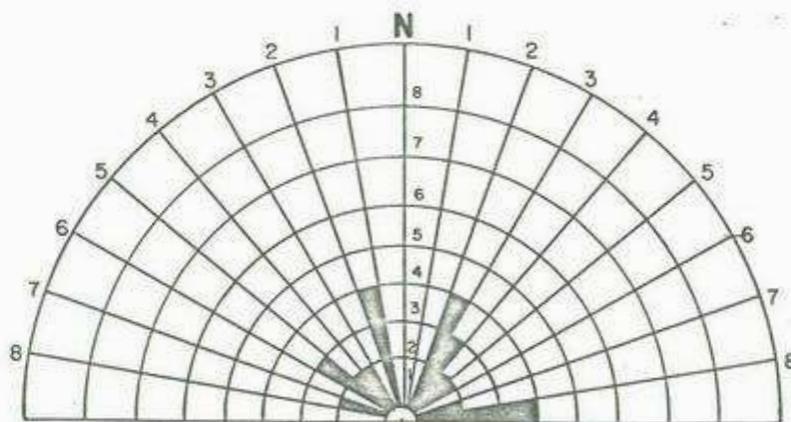
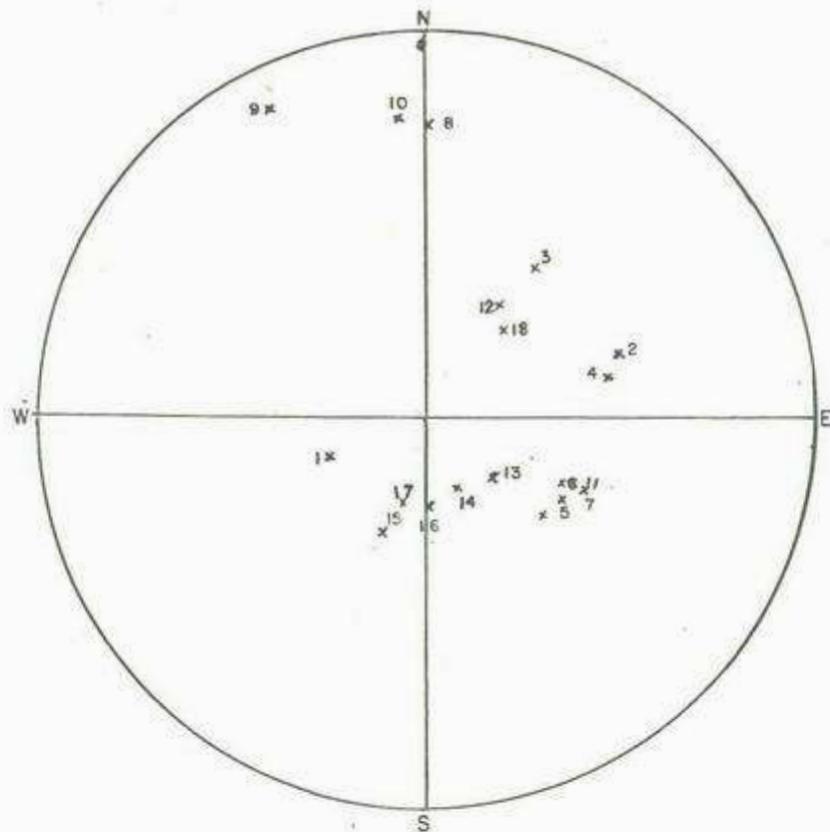
FIGURA 16



RUMBO	ECHADO
1 45° NE	81° NW
2 40° NE	70° NW
3 35° NE	72° NW
4 47° NE	59° NW
5 60° NE	41° NW
6 34° NE	71° NW
7 45° NW	40° SW
8 10° NW	90°
9 EW	75° S
10 10° NE	90°
11 12° NE	83° SE

RUMBO	ECHADO
12 35° NW	81° SW
13 67° NE	75° SE
14 72° NE	64° SE
15 25° NW	81° SW
16 10° NW	82° SW
17 13° NW	75° SW
18 60° NE	79° SE
19 5° NW	80° SW
20 5° NW	60° SW
21 55° NE	80° SE
22 15° NW	47° SW

DIAGRAMA 7.-FALLAS EN LA MINA LA NORTEÑA



RUMBO	ECHADO
1. 20° SE	29° NE inverso
2. 20° NW	57° SW inverso
3. 53° NW	53° SW inverso
4. 15° NW	51° SW Inverso
5. 34° SW	43° NW inverso
6. 22° NE	45° NW ?
7. 26° NE	45° NW ?
8. E.W	76° S Inverso
9. 62° NE	85° SE inverso

RUMBO	ECHADO
10. 85° NE	78° SE inverso
11. 22° NE	50° NW inverso
12. 55° NW	34° SW inverso
13. 40° NE	28° NW inverso
14. 45° NE	21° NW inverso
15. 70° NW	36° N inverso
16. 80° NE	26° NW inverso
17. 85° NE	27° NW inverso
18. 33° NW	30° SW inverso

de los tajos se puede rehacer una historia tentativa del emplazamiento del granito y de las diferentes estructuras en conjunto con la mineralización.

Con el estudio cartográfico del área, en base a correlación con otros granitos cercanos, el intrusivo granítico se asigna a la Orogenia Laramide.

Un sistema de diaclasas conjugado se encontró en las rocas carbonatadas, - el cual es anterior a los diques y a la mineralización. El sistema de diaclasas 1 es utilizado por diques andesíticos (Fig. 15 C) .

Posteriormente un sistema de fallas inversas 25°- 50° NE (Sistema 1) afecta la zona y desplaza los diques andesíticos. Enseguida, una fase pegmatítica aprovecha la estratificación, el sistema de diaclasas 1 y 2 así como el sistema de fallas 1. Las pegmatitas tienen composición y espesor diferente, la mayoría están compuestas por cuarzo y feldespato, presentando alteración posterior. Son desplazadas por un fallamiento inverso de rumbo 20° NW (Sistema 2).

Sigue otro sistema de fallas inversas (Sistema 3) con rumbo casi E-W y echados al sur.

Una primera fase de mineralización de tipo metasomático viene con el skarn con una fugacidad de H<sub>2</sub>O importante, utilizando el sistema de fracturación y fallamiento antes descrito. Antecede a una fase pneumatolítica intensa, emplazada principalmente en el sistema de fallas 1 (Diag. 6 y Petrografía), al decrecer - la temperatura, con removilización posible de la scheelita, sigue una fase de sulfuros y una etapa hidrotermal representada por calcita y yeso principalmente lo cual indica una circulación de fluidos importante a lo largo de la fracturación . Los sistemas de fallas 1 y 2 presentan reactivación posterior al metasomatismo (Diagrama 7).

Por último el área es afectada por fallamiento distensivo del Neogeno, ampliamente distribuido por fallas normales de gran ángulo.

En resumen se presenta una tabla recapitulativa de los eventos :

- 1.- Intrusivo Laramide.
- 2.- Diaclasas NW 5°- 35° echado 60°- 90° SW (Sistema 1). Posiblemente  
Diaclasas NE 34°- 60° echado 40°- 80° NW (Sistema 2). preexistentes.
- 3.- Diques andesíticos en el sistema de diaclasas 1
- 4.- Fallas inversas 28°- 50° NE echado 20°- 50° NW.
- 5.- Diques pegmatíticos .
- 6.- Sistema de fallas inversas rumbo 20° NW echado 29° NE.
- 7.- Sistema de fallas inversas E-W con echados 78°- 85° SE.
- 8.- Skarn con primera mineralización, metasomatismo.

- 9.- Diques con cuarzo y granate neumatolítico.
- 10.- Reactivación del fallamiento inverso mediante los sistemas 1 y 2.
- 11.- Fallamiento normal Neogeno.

Petrografía. Se realizaron 7 láminas ( NR-9, NR-10, NR-20, MNo.3, MNo.-14 ZA, MNO. 21 y MNR-24).

Las muestras pertenecen a los distintos tajos y al intrusivo microdiorítico.

Muestra NR-10.- Es de color rojizo con una leve zonación no muy bien definida, con partes más rica en granate rojo y otras de color verde pistache que puede corresponder a diópsida - epidota y de color verde claro posiblemente vesubianita. Existen zonas de relleno y vetillas de cuarzo. Se encuentran muy pocos sulfuros diseminados en pequeños cristales que no exceden el milímetro de diámetro, al parecer de pirita. Localización Tajo La Grande.

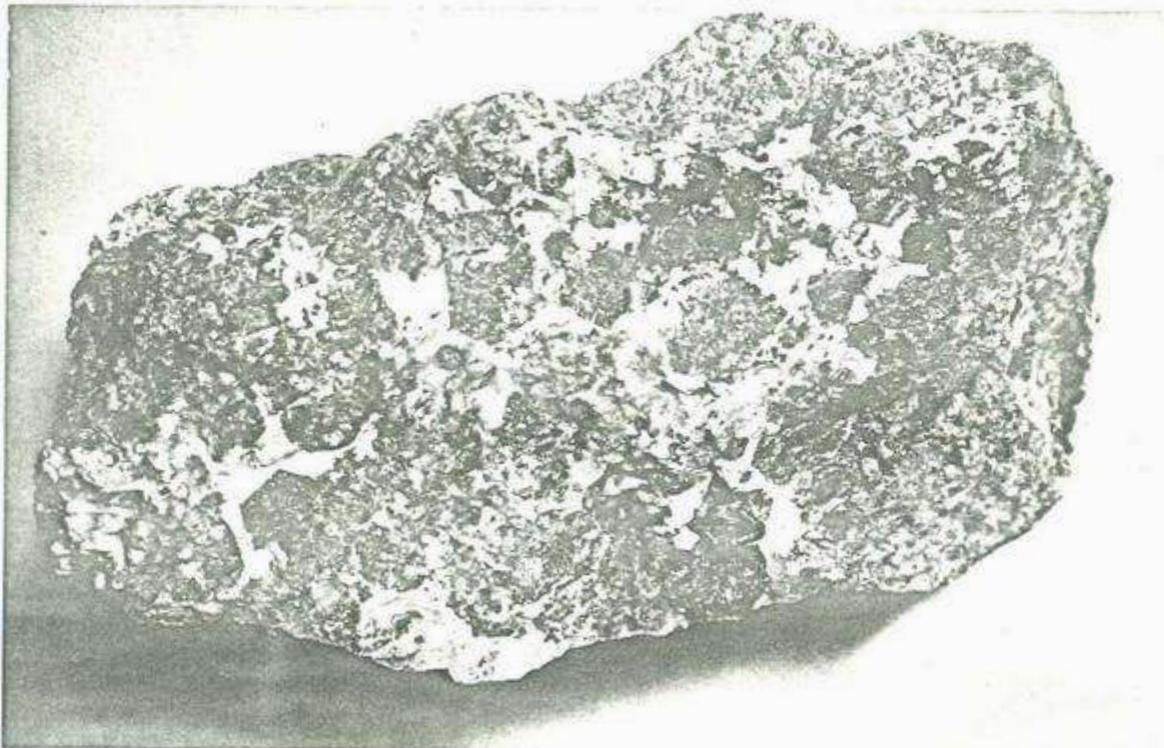


Foto 21.- Skarn mineralizado de la mina La Norteña. Se observan cristales bien desarrollados de granate rojo, cuarzo, feldespato y fluoruros (en blanco y gris respectivamente). Se encuentra mineralizado con sulfuros: pirita (amarillo latón) y marmatita (negro). Existen cristalitas de scheelita en el granate. Tajo El Puerto.

Muestra MNR-24.- No presenta mucha diferencia con la muestra precedente, la zonificación es menos marcada y tiene mucho cuarzo. Este mineral aparece igualmente en vetas de 5 mm. de espesor, el granate puede estar asociado a esta veta. Localizado en el Tajo No. 2.

Muestra MNo 3.- Se encuentra en una matriz de cuarzo bastante granate rojo, algunos cristales bien formados de fluoruro; muy poco feldespato de color rosa, indicando una naturaleza pegmatítica. Hay unos minerales café oscuro con brillo vítreo no identificado, y algunos sulfuros oxidados. Localizado en el Tajo La Grande.

Muestra MNo.14 ZA.- Los minerales principales son el granate y el cuarzo, este último rellenando. Se observa también poco feldespato y fluoruro dentro del cuarzo. El granate bien cristalizado, en las vecindades con el cuarzo es de color rojo. Se encuentra un zonificación de granate por una parte y de minerales verdes diópsida, epidota, por otra. Se encuentra también el mineral café oscuro, el cual parece corresponder a un tipo de alteración ya que se encuentra sólo superficialmente. Hay dos tipos de sulfuros: pirita común en las muestras anteriores y otro que puede corresponder a marmatita. Tajo El Puerto.

Muestra NR-20.- Se observan dos zonas diferentes, ambas imbuidas en el cuarzo. Una zona de color rojo con granate principalmente y otra de color verde básicamente de epidota. Las dos zonas son excluyentes.

A primera vista en las muestras se nota una fase neumatolítica muy importante con aporte de F como fluorita (?) asociado al cuarzo. Según Gunlach y Thorman (1960), la relación del flúor como transportador de la scheelita no es todavía muy clara, pero existen experiencias que prueban su importancia. A reserva de un estudio más preciso, es probable que esta fase neumatolítica sea responsable del enriquecimiento secundario de scheelita en el skarn.

#### Descripción de las láminas.

Lámina NR-9.- Está formada por cristales de granate bien formados, los cuales no presentan una extinción total, sino alternada, este granate es una variedad de la grosularia cuya fórmula es  $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$  llamada pirineita.

También se encuentra un mineral idioblástico de color verde que presenta una alteración (en luz normal tiene un centro verde y borde amarillo), el mineral puede ser probablemente el granate uvarovita  $(Ca_3Cr_2(SiO_4)_3)$  y la alteración puede corresponder a una kelifitización, que es una epigenia por una clorita acompañada en ocasiones por epidota. Este mineral está asociado a un mineral opaco (no identificado) y al granate pirineita.

Un piroxeno de la serie diópsida en cristales idioblásticos junto con el granate. Como minerales de alteración del granate y piroxeno están la epidota (más abundante), calcita y clorita. Por último cuarzo relleno de todos los espacios, dentro del cual se encuentra un fluoruro (criolita ?) e inclusiones de apatito.

Lámina NR-10.- Constituida principalmente por granate pirineita en una proporción del 40 %, diópsida en cristales subidioblásticos (7 %) acompañando a la epidota y a veces a cristales xenoblásticos de calcita.

Idocrasa cristalizando alrededor del granate en cristales bien formados (10 %). El cuarzo 30 % presenta una cristalización tardía englobando los minerales anteriores (Fig. 17 C).

Lámina NR-20.- La diópsida y vesuvianita presentan una cristalización más o menos sincrónica, una actinolita de composición variable (uralita) es el producto de alteración o uralitización del piroxeno. Epidota, calcita y cuarzo son los minerales posteriores (Fig. 17 B).

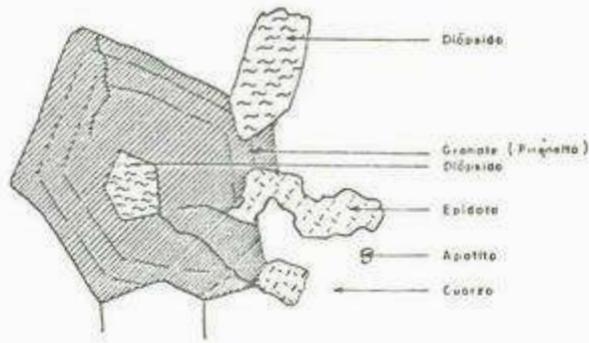
Lámina MNo. 3.- En esta lámina el cuarzo está presente en mayor abundancia (50 %), presentando golfos de corrosión en los cristales de fluoruro (criolita ?) idio-subidioblásticos (15 %). Granate pirineita muy alterado quedando pocos vestigios de este mineral (15 %). Epidota (5 %) en su variedad pistachita en cristales subidioblásticos y en cristales aciculares en el cuarzo, diópsida (7 %) acompañando al granate, cristales radiales de clorita y calcita en cristales xenoblásticos (Fig. 17 A).

Las lagunas de corrosión y el porcentaje elevado de cuarzo y fluoruro indican una fase volátil importante.

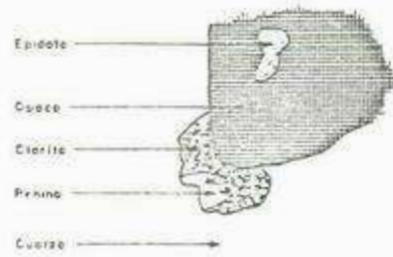
Lámina MNo. 14 ZA.- Esta lámina no presenta variación importante con las láminas anteriores (mismo granate pirineita, piroxeno diópsida...) pero se encuentra calcita en porcentaje más elevado (Fig 17 B).

Lámina MNR- 24.- La pirineita idioblástica también está en proporción más elevada que el piroxeno, calcita reaccionando con epidota como minerales de alteración del granate y piroxenos. Existe clorita y penina alrededor de los sulfuros. El fluoruro es cortado por delgadas vetillas de cuarzo, el cual también está presente en cristales xenoblásticos con inclusiones de apatito (Fig. 17 A).

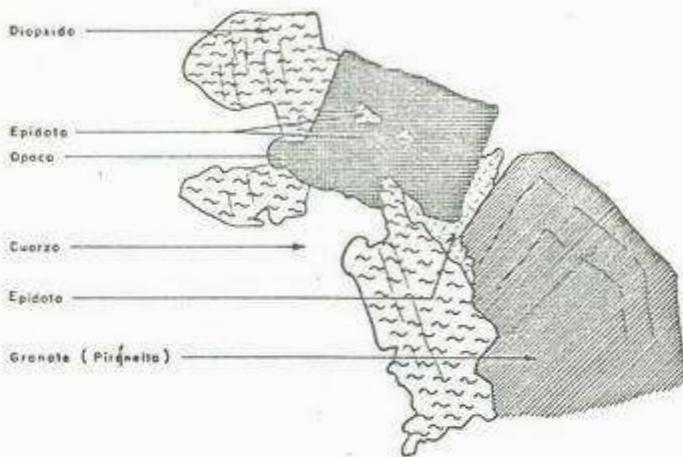
Lámina MNo. 21.- Se trata de una roca compuesta principalmente por anfíbol y plagioclasa. El primero presenta dos variedades: hornblenda y actinolita en



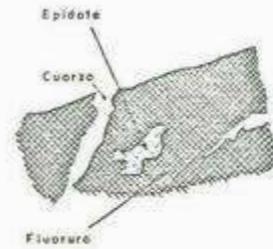
A (x100)



B (x100)

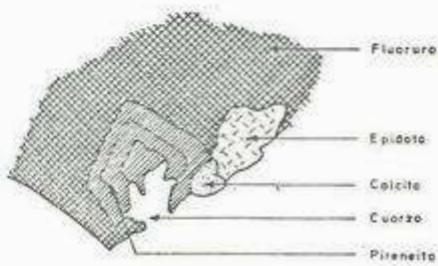


C (x100)

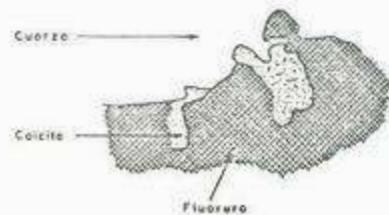


D (x100)

LAMINA MNo 3



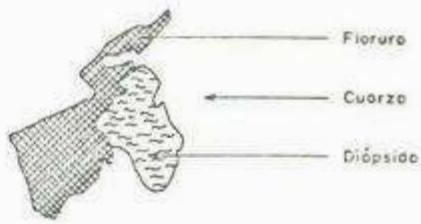
A (x100)



B (x40)

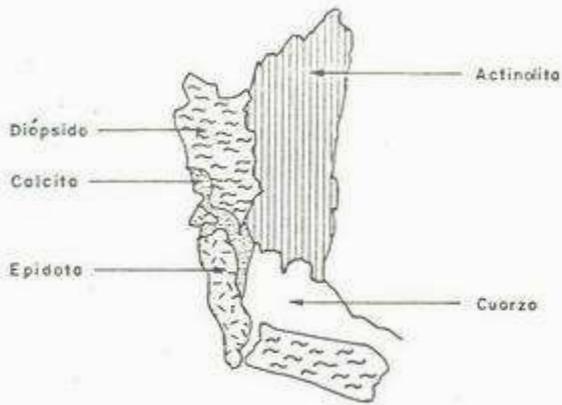
FIG. 17 A,-

LAMINA MNo 14 ZA

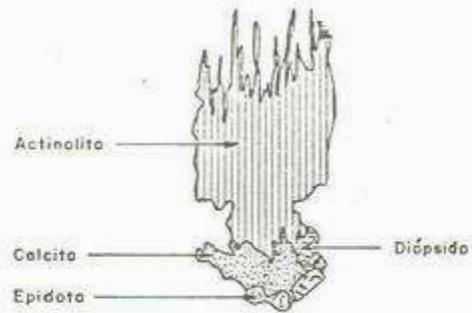


A (x 40)

LAMINA NR 20



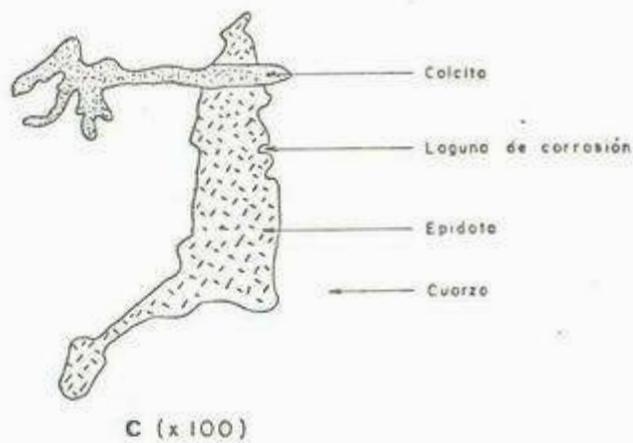
A (x40)



B (x 40)

FIG. 17B.-

LAMINA M No 3



LAMINA NR 10

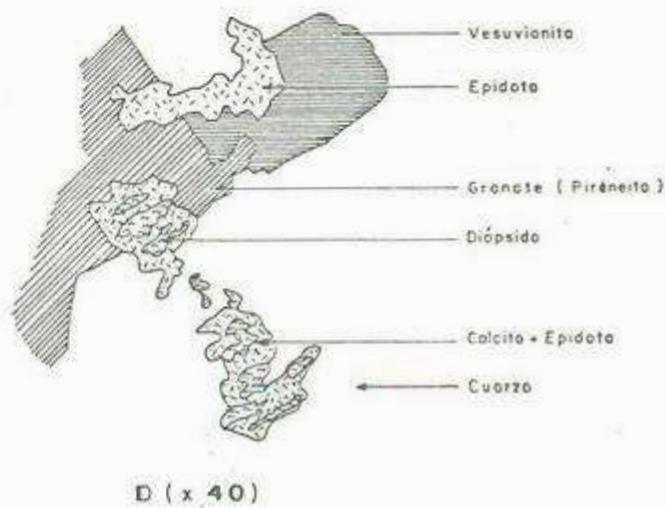
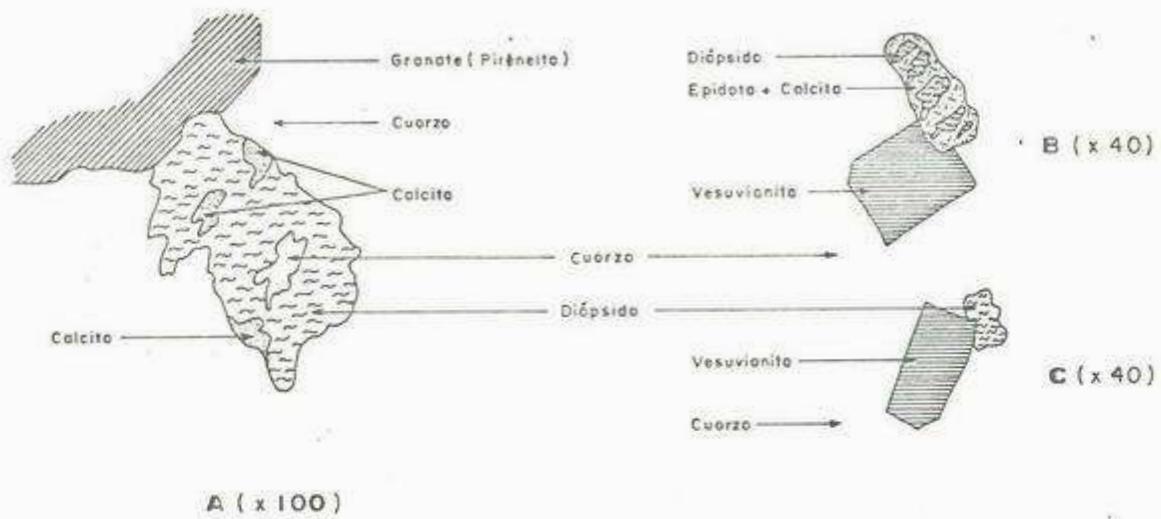


FIG. 17 C.-

cristales bien formados de hasta 2 mm. Las maclas de las plagioclasas se encuentran casi borradas por la alteración hidrotermal (saussuritización), está siendo reemplazada por epidota, clorita-penina y calcita .

La pistachita presenta zonación, al lado de esta cristaliza la clinozoisita. Como minerales accesorios se encuentran dos tipos de minerales opacos posiblemente pirita y marmatita rodeados por cristales irregulares de esfena.

Esta roca tiene una composición diorítica y es similar a las rocas encontradas en el semigraben del río Yaqui descritas en el inciso 2 a) .

**Petrogénesis.** En las láminas estudiadas de la mina La Norteña se encontró una predominancia del granate sobre el piroxeno, cristalizando al mismo tiempo y en ocasiones posterior el piroxeno.

El granate más abundante es la pirineíta, tipo particular de la grosularia. La uvarovita está asociada a este granate en una proporción reducida.

Ambos granates son cálcicos y pertenecen a la serie Ugrandita, debido a la abundancia de calcio proporcionada por la caliza.

El granate pirineíta no presenta alteración importante, entonces se puede pensar que el sistema grosularia + cuarzo no es muy inestable, esto indica una temperatura de formación inferior a los 600° C.  $X_{CO_2}$  de los fluidos formados del skarn usualmente más pequeños que 0.4 prueban que el skarn es formado a temperaturas menores de 600° C (Shimazaki, 1981).

El piroxeno pertenece a la serie diópsida con ángulos de extinción de 36°-41°, es un piroxeno magnesiano que varía de diópsida a salita.

La composición del granate y del piroxeno señalan una pobreza en fierro de los minerales de metasomatismo.

En algunos cristales de piroxeno se observa una extinción diferente en el borde y en el centro, el cual corresponde a una diópsida y el borde a una salita que muestra un enriquecimiento (de fierro) todavía débil en el curso de la cristalización en la etapa metasomática .

La idocrasa (vesuvianita) cristaliza posterior a estos minerales. Su fórmula ideal es  $Ca_{10}(Mg,Fe)_2Al_4Si_9O_{34}(O,H,F)_4$  (Deer et al, 1962), algunos trabajos sobre la relación de la estabilidad de la idocrasa magnesiana fueron efectuados por Hochella et al (1982) donde mencionan que la idocrasa en presencia de cuarzo puede ser estable solamente a temperaturas más bajas de 400° C y  $X_{CO_2}$  menor de 0.015 a 2 Kb. de presión de fluido.

La idocrasa en la Norteña está en cristales idioblásticos y sin alteración en un ambiente con cuarzo y minerales producidos por la alteración de los

piroxenos a calcita + epidota + cuarzo.

La epidota tiene un tiempo de cristalización posterior a la idocrasa, es uno de los minerales a que se altera el piroxeno y el granate acompañado por calcita y cuarzo. Muestra un color poco intenso a luz normal, lo cual puede indicar baja proporción de pistachita y por lo tanto de fierro, su fórmula es  $\text{Ca}_2\text{Al}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{III})\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$  y es uno de los minerales más frecuentes de los skarns.

Con una fugacidad de oxígeno relativamente baja, los skarns con epidota deben ser formados en un estado de relativa oxidación.

El anfíbol se presenta fibroso con ángulo de extinción Ng:  $C13-16^\circ$ , entonces se trata de una actinolita (sensus strictus) de 30 a 80 % en Fe en relación al magnesio. Se encuentra relacionada a la diópsida como producto de alteración de ésta, acompañada por cuarzo y calcita, por lo tanto es posterior al piroxeno. Shimazaki (1980) encontró que la composición de las actinolitas, producto de alteración de los clinopiroxenos (en el yacimiento de Yaguki) está controlada por la fugacidad de oxígeno.

La epidota también con 30 % en mol de pistachita es un buen indicador de un estado relativamente más alto de oxidación, pero microscópicamente es difícil conocer el porcentaje exacto de pistachita en la epidota.

El fluoruro se halla en granos bien cristalizados presentando clivaje secundario que podría corresponder a la fluorita o posiblemente a la criolita. Este mineral de cualquier modo, viene con la fase neumatolítica junto con el cuarzo.

Esta fase debe ser importante en base a que las rocas con un porcentaje de cuarzo elevado, se encuentran muy distribuidas así como las vetas cuarzosas y cuarzofeldespáticas. Lo cual es también confirmado por la presencia de fluoruros que deben indicar la existencia de  $\text{H}_2\text{O}$  en esta etapa, en cantidad importante, aunque faltan argumentos petrográficos.

La scheelita, mineral difícil de detectar en lámina delgada no fué observada, sin embargo las observaciones de campo señalan su asociación con el cuarzo y el fluoruro en el skarn, lo cual podría indicar que viene (al menos en parte o removilización) en la fase neumatolítica.

La ocurrencia de este mineral, diseminado llenando los intersticios entre los cristales idio-subidioblásticos de los minerales del skarn, puede significar una formación tardía de la scheelita en relación con los minerales del skarn, aunque tanto unos como otros se formen durante un proceso continuo de actividad de fluidos acuosos (Shimazaki, 1982).

Minerales posteriores a esta fase neumatolítica son la clorita, calcita y cuarzo, los cuales son producto de alteración hidrotermal ulterior a la mineralización.

Importancia Económica del Depósito. Un cálculo de reservas de la mina La Norteña fué realizado por Aguirre y Figueroa en 1983. Los muestreos se realizaron en los tajos La Grande (en la zona de corneanas y de diques pegmatíticos con skarn) y en los tajos El Puerto y La Dura.

Se calcularon reservas probables de 29, 670.70 ton. y posibles de 75,086.60 que dan un total de 104,751.30 con una concentración promedio de  $WO_3$  de 0.316 % .

Sin embargo, como lo especifican los mismos autores los resultados de los análisis químicos de las muestras son dudosos, además no se consideraron otras zonas mineralizadas ( como las tajos No. 1 y No. 2), por lo que las reservas tanto probables como posibles quizás fueron subestimadas.

Por otra parte, en ningún tajo se observa el contacto con el granito y es probable la continuidad del skarn mineralizado hasta el mismo, como en la mayoría de los yacimientos de este tipo en el mundo. Esto sólo puede comprobarse mediante una serie estructurada de perforaciones, lo cual aunado a un buen muestreo y análisis, permitiría establecer con exactitud la importancia económica del depósito, que por lo antes señalado, es muy probable que sea mucho mayor de lo estimado.

#### Conclusiones.

La intrusión que se observa corresponde a una microdiorita de hornblenda en afloramientos muy reducidos. El granito es la intrusión más importante y no se observa en el área de la mina. El contacto de la microdiorita con la roca encajonante parece intrusivo. La morfología indica que esta mina se localiza en la parte apical de un plutón granítico-granodiorítico.

Hay dos sistemas de diaclasas y fallas inversas anteriores a la intrusión. Eventos compresivos dieron lugar a la formación de pliegues, reflejados en el buzamiento de las capas. Existe una red de fallas inversas de poca magnitud, incluso cabalgamientos reducidos que cortan el skarn en tres sistemas principales, cuya formación relativa coincide con la de los diques andesíticos y pegmatíticos.

Algunas fallas normales de salto relativamente importante, dan lugar a bloques con límites aproximadamente N-S y E-W, estas fallas son el último evento importante de deformación.

La roca encajonante está constituida por mármoles con calcita principalmente, algo de diópsida, wollastonita, escapolita, granate, cuarzo y cordierita. Las corneanas son de cuarzo, epidota, diópsida y granate.

La roca encajonante se encuentra afectada por reacciones de metamorfismo isoquímico y bimetasomatismo (formado por difusión entre dos zonas de distinta composición con aporte de Ca del mármol y Al, Mg de las bandas intercaladas).

La presencia de cordierita implica temperaturas mínimas de metamorfismo de aproximadamente 500 - 600 °C (Hirschberg y Winkler, 1968). La presencia de grosularia requiere temperaturas de aproximadamente 550 °C según Gordon y Greenwood (1971) y la wollastonita (Greenwood, 1977) estable a 2 kb. también requiere una temperatura similar.

Considerando el espesor de las unidades que sobreyacen a la Fm. Las Tierras, huésped del skarn, se considera una cobertura de 2 a 3.5 km. como mínimo sobre el nivel del skarn.

El skarn se ha formado por la circulación de fluidos metasomáticos a lo largo de las juntas de estratificación y a través de diaclasas preexistentes. Se pueden reconocer las fases principales comunes a muchos skarns con scheelita:

1a. Fase de metasomatismo (600 - 500 °C). Los fluidos que pueden ser tanto de origen magmático y meteórico, ascienden por fracturas del intrusivo dando lugar a la formación de los principales minerales del skarn: granate (grosularia, uvarovita ?) y piroxeno de la serie diópsida con algo de scheelita y cuarzo. La idocrasa se forma más o menos al fin de esta etapa, durante la cual se lleva a cabo el emplazamiento de diques pegmatíticos a lo largo de diaclasas, los cuales están compuestos de cuarzo, feldespato, micas con algo de yeso tardío y mineralizados con scheelita y sulfuros (pirita).

2a. Fase de alteración hidrosilicatada, la cual se produce por circulación de fluidos hidrotermales menos calientes (400 - 500 °C según Burnol et al 1978 y entre 200 y 400 °C según Burt y Petersen, 1974). Producen un metamorfismo retrógrado de los minerales del skarn, dando una mineralogía compuesta por actinolita, epidota (pistachita-clinozoisita), cuarzo, calcita, fluoruros (fluorita - criolita ?) y minerales de scheelita asociada a sulfuros principalmente pirita y marmatita.

Se considera que es dentro de la segunda fase cuando se realiza la alteración de la roca intrusiva produciéndose actinolita, epidota, clorita, calcita y sericita (fenómenos de saussuritización, sericitización, etc.).

La reconcentración importante de los minerales de scheelita en esta etapa

GRANATE: Pirineita

Uvarovita (?) ?-----?-----

PIROXENO: Diópsida

EPIDOTA

VESUBIANITA

ACTINOLITA

FLUORURO

CLORITA-PENINA

CALCITA

CUARZO

APATITO

MINERALES OPACOS

SCHEELITA

PARAGENESIS MINERALOGICA DEL SKARN DE LA MINA LA NORTEÑA.

es también señalada por su coexistencia con sulfuros alineados en los skarnoides y es causada al parecer por la liberación de Ca durante el reemplazamiento de los minerales ricos en Ca por los hidrosilicatos pobres en Ca.

Es en esta etapa cuando se mineralizan las corneanas que rodean el skarn, lo cual es sugerido por la morfología de la scheelita diseminada en pequeños granos y en vetillas siguiendo fracturas. En algunos yacimientos como el de Pine Creek (E.U.A.) y Salau (Francia) esta es la principal etapa de mineralización.

3a. Fase de alteración de baja temperatura. señalada por la existencia de cuarzo, calcita y minerales opacos oxidados y removilizados.

#### b) Area del Semigraben del Río Yaqui.

##### b.1) Introducción.

En el semigraben paralelo al río Yaqui se ha diferenciado una zona mineralizada, ya que las características geológicas y la mineralización encontrada en diferentes puntos, son similares.

Varias labores mineras de reducida magnitud han sido efectuadas por gambusinos en esta zona, entre ellas las minas El Perú, Los Nachos de San Pedro y la Esperanza han sido escogidas para ejemplificar estos depósitos.

##### b.2) Geología.

Todos los yacimientos encontrados en esta región son de tipo skarn localizados en el contacto entre rocas carbonatadas atribuibles a la Fm. Las Tierras y rocas intrusivas graníticas que presentan variaciones texturales y de composición. Estos contactos son visibles gracias a la intensa denudación que afecta a esta zona.

La zona de skarn es en la mayoría de los casos paralela a la estratificación y asemeja mantos tabulares. Esto se debe principalmente, a que la disposición de las capas, casi paralelas al contacto con la roca intrusiva, limitó a los fluidos mineralizantes a circular por la zona de permeabilidad situada en el contacto, así como por esporádicas fracturas y fallas preexistentes.

Los minerales del skarn reconocidos a muestra de mano son: granate, piroxeno, epidota y cuarzo, que producen una zona claramente distinguible de color verde a rojizo.

La mineralización se concentra principalmente en el exoskarn y consiste de scheelita y molibdenita diseminadas y otros sulfuros menos abundantes como

pirita, bornita, pirrotita y calcopirita.

A partir de las labores mineras estudiadas, es posible notar una zonificación mineral, a escala kilométrica, predominando la molibdenita en las minas situadas hacia el N del área y un incremento continuo de la cantidad de scheelita hacia el sur.

Atraviesan el skarn vetas de cuarzo-epidota, cuarzo-feldespáticas y de cuarzo, a las cuales se relaciona parte de la mineralización.

### b.3) Mina Perú y Mina Esperanza.

Estas minas se sitúan a uno y otro flanco del cerro Las Agujitas y es probable que indiquen la continuidad del skarn a lo largo del mismo (Fig. 1, sección A-A'). En ambas se reconocen claramente tres zonas:

Roca encajonante: compuesta de mármoles de color blanco y gris en estratos finos a gruesos (fig. 18). En la Mina Perú se observaron estructuras que semejan restos de fusulínidos, pero debido a su recristalización y deformación no es posible determinarlos. En la Mina Esperanza se trata de un mármol arenoso, gris claro, con estratificación fina.

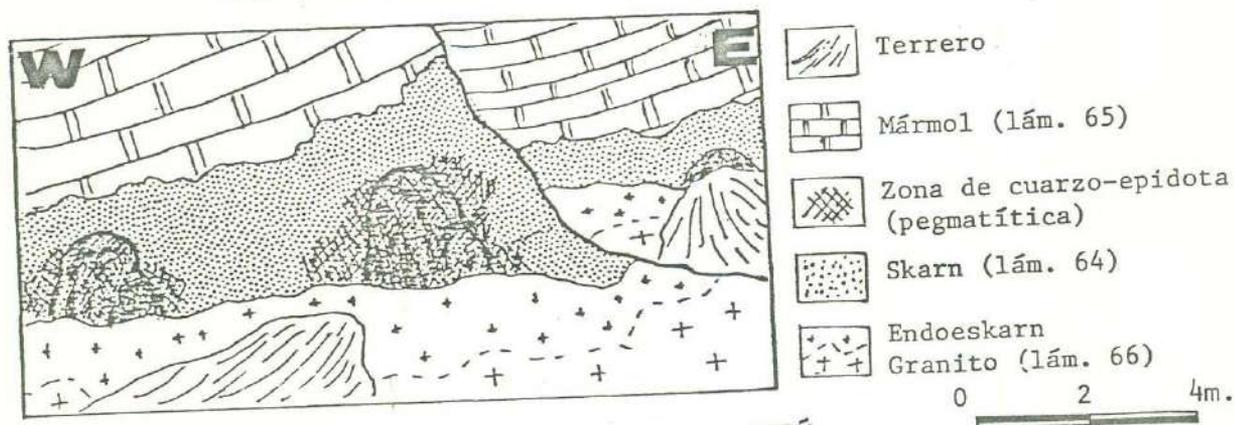


FIG. 18.- SECCION ESQUEMÁTICA DE LA MINA EL PERÚ.

Roca Intrusiva: Se trata de un granito de grano grueso, muy alterado, -- con grandes láminas de biotita y cristales de ortoclasa. Cerca del contacto -- se reconoce una zona de endoeskarn visible por contener granate en pequeña cantidad.

Microscópicamente la textura observada es xenomórfica, con la siguiente mineralogía: Feldespatos potásicos (58 %) ortoclasa y microclina en ocasiones con inclusiones de plagioclasas, además presentan alteración a arcillas; cuarzo con bordes mirmequíticos en un 20 %, oligoclasa en cristales subautomorfos

a xenomorfos (12 %); hornblenda completamente alterada con inclusiones de esferna automorfa (3 %), la cual también se encuentra en pequeñas inclusiones de la ortoclasa, biotita alterando a penina la cual se altera a su vez a arcillas; epidota (2.5 %) y como accesorio circón en diminutos cristales distribuidos al azar. Existen minerales opacos, al parecer pirita, relacionados con los ferromagnesianos. La roca se halla cortada por vetillas finas de calcita (Lám. 66).

Esta roca muestra una tendencia hacia las sienitas o hacia los granitos alcalinos (Diag. 1), lo cual se debe posiblemente, al desarrollo de grandes cristales de microclina a partir de las plagioclasas (microclinización). Estas reacciones se producen según Williams et al (1983) en las últimas etapas de diferenciación y se piensa que pueden verse favorecidas por la asimilación de la roca encajonante. Las mirmequitas observadas son también un reflejo de las últimas reacciones de postconsolidación.

Los efectos de circulación de los fluidos están bien representados, producen una alteración hidrotermal: cloritización de anfíboles y biotita, sericitización posterior y formación de epidota. En etapas más tardías vetillas de calcita cortan la roca.

Zona de Skarn: Tiene un espesor variable desde 25 cm. hasta 5 m. Pueden distinguirse zonas con bandas de minerales (skarnoide) formadas de granate, piroxeno, cuarzo, epidota, las cuales sugieren que los fluidos han seguido las juntas de estratificación y de ahí se han difundido, dando lugar a una zonificación, la cual, también se puede observar a partir de los contactos de las pegmatitas cuarzo-feldespáticas que son comunes y tienen un rumbo general NW 30°. Estas pegmatitas se encuentran mineralizadas con scheelita y parecen emplazarse a favor de fallas inversas las cuales se han reactivado posteriormente a su emplazamiento. (Foto 22).

Pueden reconocerse además, bolsas (donde se concentran minerales de un tipo y de mayor tamaño), principalmente constituidas de cuarzo, granate y piroxenos, a ambos lados de fallas de poco desplazamiento.

Microscópicamente la lámina No. 64, hecha en el skarn, está formada por granate rojizo (70 %), el cual muestra zonación; diópsida automorfa (15 %), epidota en sus variedades pistachita y clinozoisita (5 %), cristales fibrosos de actinolita (5 %) creciendo a expensas del piroxeno; wollastonita en pequeños cristales fibrosos (2 %) y calcita recristalizada dentro de los cristales de granate. Como minerales secundarios se encuentran: calcita relleno de huecos, y como alteración de los piroxenos, cuarzo en vetillas con epidota, penina como alteración del granate y en parte de la diópsida, óxidos de hierro, arcillas -

sericita como alteración del piroxeno. La textura es idioblástica.

Se trata entonces de un skarn cuyos minerales primarios y más importantes son granate (normalmente del tipo grosularia) zonado y bien cristalizado, y -- diópsida en menor proporción. Estos minerales se alteran a epidota, actinolita y clorita, que representan una alteración hidrotermal a temperaturas más bajas que la de los minerales primarios. Esta alteración produce asimismo silicificación, sericitización.

Mineralización. La mineralización consiste en estas minas de scheelita, powelita con muy poca cantidad de molibdenita. Estos tres minerales están relacionados entre sí, notándose cristales de scheelita alrededor de los de molibdenita y de powelita, lo cual indica un mismo periodo de cristalización.



Foto 22.- Pegmatita emplazada en una falla inversa, formada por cuarzo, feldespato, plagioclasa, biotita, anfíbol (?) y scheelita. Se encuentra muy alterada por la circulación de fluidos posterior a su emplazamiento. (Mina Esperanza).

La mineralización se encuentra diseminada en el skarnoide siguiendo bandas preferenciales de granate verde, rojo y piroxeno; también existe en abundancia en las pegmatitas y en menor cantidad dentro de vetillas de cuarzo ramificadas en el skarn y diseminada en las bolsas de cuarzo y granate en cristales de hasta 1 cm.

A través de las numerosas fracturas, se observa scheelita pelicular, formada probablemente (Burnol et al, 1978) por reprecipitación de la scheelita, - junto con algunos de sus minerales de alteración superficial (como tungstita ?) esto es visible con luz ultravioleta.

Algunas de las fallas son aprovechadas por vetas de cuarzo-epidota con -- cristales bien desarrollados con un tamaño variable de .5 a 2 cm. y vetas de cuarzo exclusivamente, que cortan a las anteriores. La anchura de las vetas -- es en promedio de 15 cm.

b.4) Mina Los Nachos de San Pedro.

Esta mina queda localizada entre los cerros las Agujitas y el Chiquelito en el arroyo las Agujitas.

El skarn, más o menos paralelo a la estratificación (echado  $8^{\circ}$ - $32^{\circ}$ NE), que da comprendido en una estructura de cuña, la cual corresponde al parecer a un sinclinal recostado hacia el SW, como se muestra en la Fig. 19.

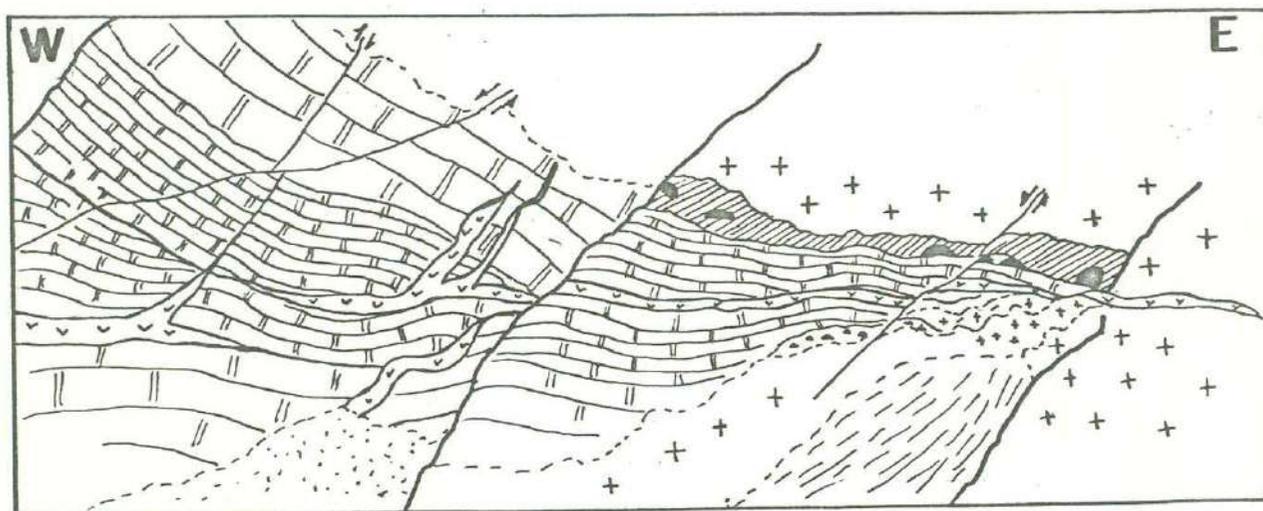
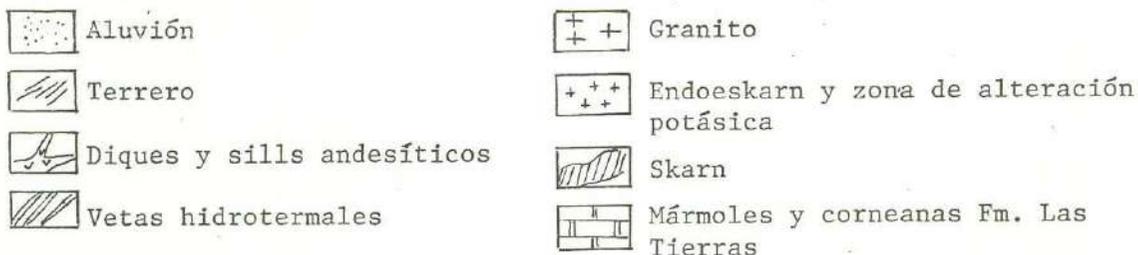


FIG. 19.- SECCION ESQUEMATICA: MINA LOS NACHOS (RUMBO NW  $70^{\circ}$ )



0 10 20 m.

Esta cuña quedó inmersa en el granito, ya que éste aprovechó para su emplazamiento estructuras anticlinales o zonas de debilidad. Estas evidencias implican fuertes presiones reinantes durante el emplazamiento del granito.

Relacionados a este periodo intrusivo se encuentran asociados diques andesíticos emplazados a lo largo de fallas inversas (?) de bajo ángulo, cortadas por fallas inversas y normales con echados que varían entre 45° y 50° al SW.

Por último diques pegmatíticos y vetas de cuarzo con sulfuros cortan todo el conjunto antes descrito.

La roca encajonante está constituida por un mármol gris con bandas de color verde, donde se pueden apreciar micropliegues, así como corneanas verdes de grano fino. Al microscopio se observa (Lám. No. 21) un mármol de epidota de grano medio, con una textura granoblástica. Los constituyentes metamórficos accesorios son: epidota (15%) cristalizando alrededor de los minerales opacos, cordierita alterándose a sericita (2%), actinolita (2%) alterada a arcillas y muscovita en diminutas laminillas (2%) asociada a la sericita.

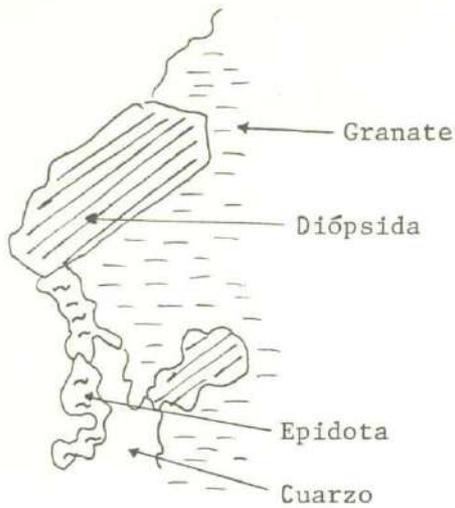
Esta roca se ha formado por metamorfismo térmico con formación de cordierita y posteriormente de actinolita y epidota. La alteración de baja temperatura es principalmente sericitización.

Otra muestra (Lám. No. 20) enseña una roca formada por calcita (70%) microcristalina con algunos cristales mayores, los cuales muestran leve deformación en sus maclas, porfidoblastos de clorita fibrosa (15%) en pequeños nódulos o agregados, formándose al parecer de la actinolita cuyos vestigios permanecen en el centro (Fig. 20 D), clinozoisita (2%) alterándose a arcillas y calcita. Como accesorios apatito y esfena, el primero idioblástico y el segundo en granos irregulares menores al 2%. Existen al menos tres tipos de opacos, el principal es la piritita acompañada por calcopiritita.

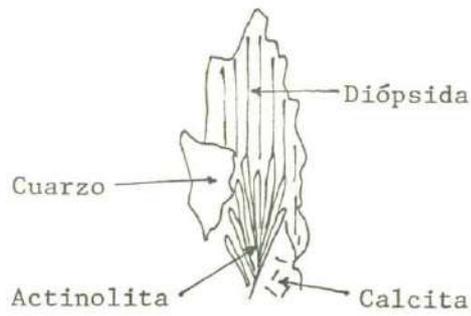
Al parecer esta roca ha sufrido una alteración hidrotermal muy fuerte representada por la destrucción casi completa de los minerales primarios de metamorfismo y de la recristalización de la calcita; además los minerales constituyentes como la clorita, son típicos de esta etapa.

La roca intrusiva muestra una clara variación mineralógica y textural en poca distancia. De la roca sana granítica hacia el skarn se pueden reconocer: una granodiorita de grano grueso con desarrollo de los ferromagnesianos (biotita y hornblenda); una granodiorita de grano más fino (Lám. No. 15); una zona clara de grano fino (endoskarn) que está en contacto con el exoeskarn (Lám. No. 17); entre estos dos últimos se encuentra una zona con alteración potásica (Lám. No. 16)

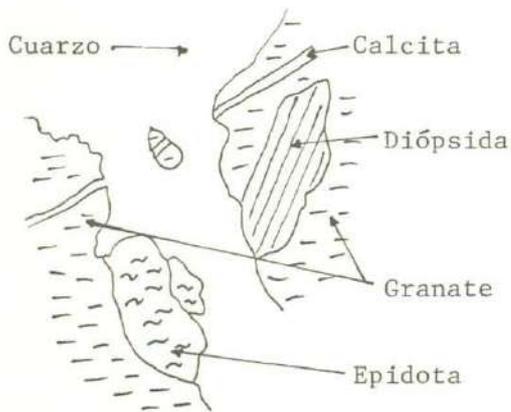
La granodiorita está constituida por plagioclasas (36%); cuarzo y feldes-



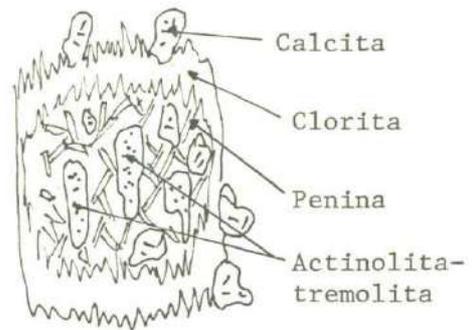
LAMINA 66 A (X 40)



LAMINA 66 B (X 40)



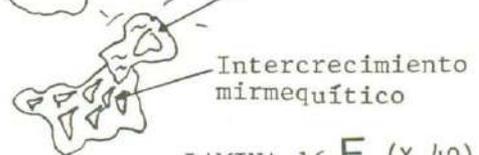
LAMINA 66 C (X 40)



LAMINA 20 D (X 40)



LAMINA 19 E (X 40)



LAMINA 16 F (X 40)

FIGURA 20.-

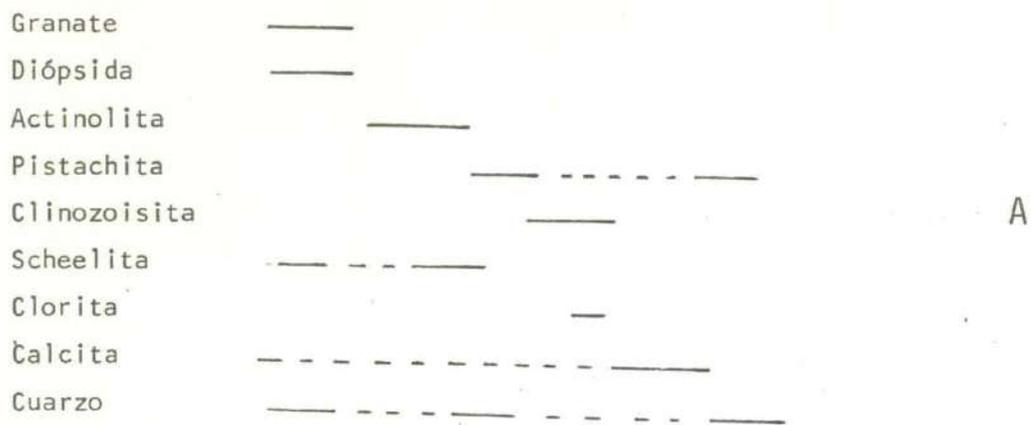
pato en la misma proporción (18 %), el primero anhedral con inclusiones de feldespato, a veces con extinción ondulante y sobrecrecimiento en los bordes, así como en intercrecimiento mirmequítico con la ortoclasa, la cual presenta algunos cristales bien conservados y otros completamente alterados a sericita y clorita, microclina con inclusiones de plagioclasa y ortoclasa; hornblenda (9 %) en cristales automorfos maclados con inclusiones de cuarzo y feldespato, biotita (11 %) con inclusiones de circón alterándose a clorita y como accesorios es fena en grandes cristales anhedrales, circón y minerales opacos bien cristalizados, además de epidota en cristales y rellenando fracturas junto al cuarzo.

La mineralogía indica que se trata de una granodiorita (Diag. 1) con alto contenido de cuarzo. Las inclusiones de cuarzo, feldespato y plagioclasa, el intercrecimiento mirmequítico, así como la cloritización, reflejan cambios en la estabilidad de los minerales producidos por fluidos que circulan por los -- contactos intrusivo-roca encajonante.

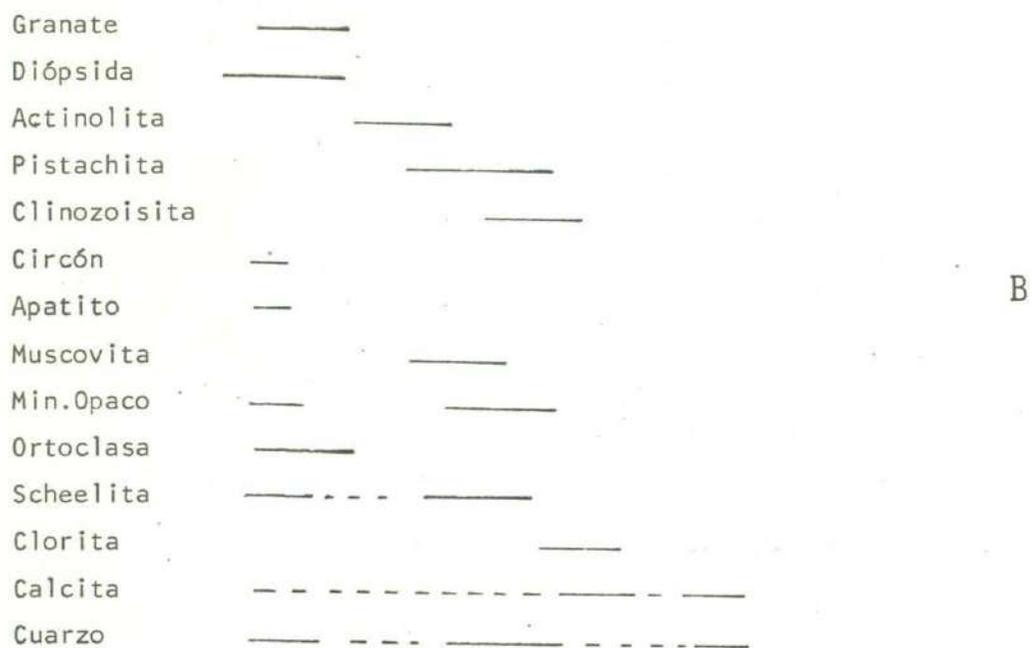
En la lámina No. 16 se observa que la roca ha sufrido una fuerte alteración potásica. Es una roca ígnea de grano medio con porcentajes difíciles de precisar, formada por ortoclasa-microclina y cuarzo con algunas huellas de plagioclasa; existen actinolita y clinzoisita, al parecer formándose a partir de la plagioclasa. Como accesorios circón y apatito automorfos. La primera alteración está representada por silicificación y feldespatización con la destrucción de las plagioclasas, cloritización en forma de cristales xenomorfos de clorita no muy abundantes, alteración de los feldespatos y plagioclasas a epidota-clorita-calcita-sericita (saussuritización), por último una introducción de calcita-epidota y cuarzo-epidota en forma de vetillas. Todo esto refleja nuevamente una marcada circulación de fluidos.

Finalmente, en la muestra No. 19 se distingue una alteración potásica muy marcada dando a la roca una coloración rosa, microscópicamente está formada por ortoclasa en un 85 %, con inclusiones de apatito y de granate, rodeados por -- cristales de muscovita. Plagioclasa en pequeños cristales (albita) no abundantes. Existen zonas rellenas de cuarzo con clorita y circón, formas relictas de anfíbol y biotita reemplazados en su mayor parte por minerales opacos, cuarzo, calcita y clorita. La roca se encuentra cortada por delgadas vetillas de cuarzo-muscovita a veces con calcita. Los minerales opacos indican que los sulfuros en esta lámina vienen con la alteración hidrotermal.

Zona de skarn. En esta zona sólo pudo realizarse una lámina delgada, la No. 17, que corresponde a una banda metasomática constituida de piroxeno diópsida en un 90 %, con algo de epidota y cuarzo. Es una roca de color verde claro, con textura decusada-granoblástica.



A



B

A SECUENCIA PARAGENETICA MINERALOGICA DEL SKARN DE LA MINA PERU.

B SECUENCIA PARAGENETICA MINERALOGICA DEL SKARN ( ENDOSKARN Y EXOSKARN ) DE LA MINA LOS NACHOS DE SAN PEDRO.

#### b.5) Mina de Molibdeno.

Está localizada en el puerto del C. Peyote y C. La Chiva sobre el arroyo\_ la Hoya.

La roca intrusiva no aflora en los alrededores de la mina.

La roca encajonante es un mármol gris perteneciente a la Fm. Las Tierras.

El skarn sigue la estratificación de la roca encajonante la cual tiene un rumbo de 30° NW y echado de 76° NE, es decir que el skarn en esta zona se -- aproxima a la vertical.

Está compuesto por granate principalmente, piroxeno, wollastonita, epidota cuarzo y sulfuros (  $FeS_2$  y  $MoS_2$  ).

La molibdenita a muestra de mano se encuentra asociada al granate y al -- cuarzo, en menor proporción con el piroxeno. Se encuentra en laminillas hexagonales y en granos irregulares, en ocasiones agrupados o concentrados dando - lugar a bolsas de molibdenita de hasta 5 cm. de diámetro.

En exámen de luz ultravioleta los cristales de molibdenita están rodeados por powelita. acompañados por escasos cristales de schéelita pura.

Diques de andesita cortan el skarn, que a su vez son cortados por falla-- miento normal.

#### b.6) Conclusiones.

Rocas intrusivas.- Afloran en el semigraben rocas de composición dioríti ca en volumen importante que parecen ser asimiladas en parte por el granito y varían de hornblenditas a meta-andesinitas. En algunos yacimientos importan-- tes de skarn con scheelita como el de Pine Creek (California), en Salau (Fran-- cia) y más cercanamente en el Fenómeno (Baja California) y el Jaralito (Sono-- ra), afloran este tipo de rocas, aunque en ninguna se les relaciona genética-- mente con la mineralización.

En las zonas más lejanas del contacto se encuentran granitos (sentido es-- tricto) de grano medio. Existen rocas con composición modal granítica como en el contacto de la Mina Perú, donde el granito tiene una tendencia alcalina lo\_ cual puede deberse a feldespatización de las plagioclasas por alteración causa\_ da por los fluidos magmáticos. En el contacto mismo se han encontrado más co-- múnmente una composición granodiorítica hasta tonalita con mucho cuarzo, estas variaciones se explican como una asimilación de las rocas encajonantes calcá-- reas (Williams et al, 1983). La asimilación es evidente ya que las rocas in-- trusivas están en contacto con diferentes niveles de la Fm. Las Tierras y exis\_ ten zonas que señalan una condición más o menos fluida de las rocas graníticas

como en la mina Los Nachos de San Pedro.

Los yacimientos de esta zona, se sitúan morfológicamente en el flanco de un plutón granítico que desciende hacia el oeste, posición distinta a la de la mina La Norteña, situada en la parte apical del mismo. La composición de las rocas intrusivas es cuarzo-ortoclasa (microclina)- oligoclasa-andesina-biotita-hornblenda, éstas últimas en mayor proporción en las rocas graníticas y tonalíticas.

A pesar del plegamiento de las capas, los contactos entre el intrusivo y la roca encajonante en la mayor parte de las minas de esta zona, es subparalelo a la estratificación y por lo tanto el desarrollo del skarn es limitado a algunos metros partiendo del contacto, con excepción de la mina de Molibdeno donde los echados son casi verticales y el intrusivo no aflora.

Mineralización.- Existe una variación en la mineralización de W y Mo en los yacimientos de skarn de esta zona, siendo la scheelita dominante en la parte sur con poca cantidad de molibdenita, invirtiéndose los porcentajes hacia la parte norte.

La única diferencia en el campo es la estructura de los yacimientos. Algunos autores (Fontailles et al, 1969), Newberry (1982), señalan que la fase de alteración hidrosilicatada es en donde vienen los sulfuros principalmente, mientras que la scheelita es solo removilizada o viene en poca cantidad en esta fase. Entonces se podría suponer una primera fase pobre en scheelita para la mina de Molibdeno y un enriquecimiento de molibdenita en la segunda fase, debido tal vez a un aporte mayor de azufre en los fluidos a menor temperatura.

Newberry (1982) señala asimismo que la diferencia en el tipo de la roca encajonante puede determinar la mena depositada e indica que en las rocas subcálcicas (con granate y piroxeno pobres en Ca) la scheelita no se deposita en cantidad apreciable.

La roca en ambos casos se trata de un mármol con más del 80 % de calcita, con algunos minerales de metamorfismo y/o metasomatismo como diópsida, tremolita-actinolita y cordierita. La temperatura según se discutió antes, para el equilibrio de estos minerales es de alrededor de 500° C.

En el skarn se reconocen las fases siguientes :

Fase de minerales primarios en el skarn, principalmente el granate grosularia, con algo de piroxeno diópsida-hedenbergita y cuarzo. Esta fase no está muy desarrollada debido a la posición estructural en los contactos.

Fase de alteración, representada por epidota, con actinolita, clorita, calcita, cuarzo y mineralización de sulfuros (molibdenita, pirita, calcopirita)

y scheelita formándose en cristales de hasta 1 cm. alrededor de escamas de molibdenita (mina Esperanza). En la mina de Molibdeno se encuentra powelita rodeando los cristales de molibdenita. En los dos casos la roca portadora está formada principalmente por granate rojo y cuarzo con diópsida subordinada (la composición exacta de los granates no es conocida).

En la interfase entre el intrusivo y el skarn, se forman en ocasiones, rocas de alteración (endoskarn, mina Los Nachos de San Pedro), constituidos por ortoclasa, muscovita, apatito, circón y mineralizados con sulfuros. También en esta etapa se produce la alteración de las rocas graníticas representada por cloritización, sericitización y saussuritización.

La última fase hidrotermal, está representada por vetillas de calcita - cortadas por vetillas de cuarzo - epidota.

Hay diques graníticos que atraviesan el skarn, los cuales se han emplazado a lo largo de fallas inversas que se han reactivado posteriormente a su emplazamiento. Los diques formados entre la primera y segunda fase, se hallan muy alterados por las soluciones posteriores, tienen una mineralogía de plagioclasa, biotita y se encuentran mineralizados con más del 5 % de scheelita pura, lo cual indica la relación de la scheelita con la fase neumatolítica y su transporte en rocas graníticas.

### c) Mina Patricia.

Localización. Se localiza en el extremo oriental de la sierra El Batamote. Es característica de un conjunto de pequeñas minas alineadas aproximadamente NW 30° SE, dos labores reducidas en los cerros la Anaconda y los Toneles y otra serie en el norte, cortando transversalmente a la sierra El Batamote.

Geología. Se sitúa muy cerca del contacto del miembro Toneles con el granito. En esta zona los echados de la estratificación varían de 50° a 70° NE y con rumbos entre 13° - 20° NW.

El granito corta transversalmente las capas como puede observarse en el arroyo Chubisco o sobre la carretera a la altura del cerro la Anaconda.

Las corneanas calcosilicatadas del miembro Toneles presentan una roca encajonante adecuada para el desarrollo de granatitas con cristales de hasta 3 cm. de diámetro, generalmente en bolsas, con wollastonita, sulfuros e incluso scheelita.

Los fluidos aprovechan así mismo fallas, fracturas y diaclasas para su circulación y se concentran en capas preferenciales. La existencia de estas

capas selectivas puede explicar el alineamiento de la mineralización .

La mina Patricia abandonada actualmente, consta de dos socavones. La roca aflorante en superficie es skarn con bolsas de granate y cuarzo con inclusiones de turmalina (?). Alteraciones con óxidos de cobre y fierro. Afloran hacia el este areniscas de color blanco que intemperizan a anaranjado por las numerosas vetillas con óxidos de fierro, al parecer son estériles.

Las capas tienen un rumbo de  $13^{\circ}$  NW y echado de  $53^{\circ}$  NE la fracturación principal es de rumbo NW  $35^{\circ}$  y echado  $23^{\circ}$  NE.

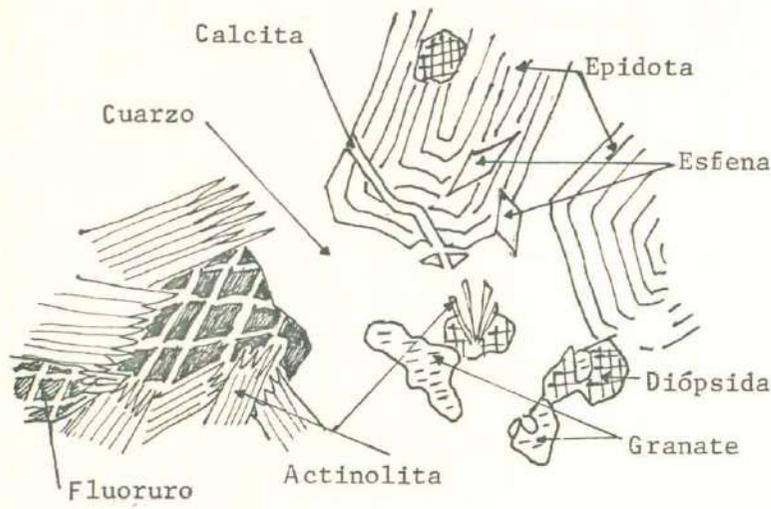
Roca Encajonante. A muestra de mano se trata de corneanas calcosilicatadas de grano muy fino y de color claro. Microscópicamente la lámina No. 62, muestra una corneana rica en cuarzo microcristalino, con porfidoblastos de diópsida (35 %) y tremolita fibrosa (3 %) alterándose a arcillas; pequeña cantidad de plagioclasas y ortoclasa (8 % en total). La roca original podría ser una limolita cuyo porcentaje detrítico está representado por cuarzo muy fino que indica retrabajamiento, por lo cual se supone que los feldespatos son producto metamórfico o metasomático. El piroxeno y el anfíbol, ambos con calcio y magnesio, sugieren la existencia primaria de calcita y/o dolomita, las cuales han reaccionado completamente para producir estos minerales.

Roca Intrusiva. En el área de la mina no se observa el contacto con la roca intrusiva, pero 200 m. más abajo aflora el granito (Lám. No. 37) intrusionado por una granodiorita (Lám. No. 35), estas rocas fueron descritas en la parte correspondiente a rocas plutónicas.

Zona de Skarn. El skarn parece formarse por circulación de fluidos principalmente a lo largo de la estratificación, produciendo bandas características de granate bien cristalizado, diópsida y calcita. En muestra de mano se observan sulfuros como bornita, pirita y calcopirita. Además de mineralización de scheelita.

Microscópicamente en las láminas 59 y 63, se observa que el mineral más abundante es el granate, en cristales idio-subidioblásticos, también como agregados masivos conteniendo cristales de diópsida, anfíbol, calcita, cuarzo y epidota. La diópsida presente se está alterando a calcita y arcillas; existen abundantes minerales opacos (pirita, calcopirita); penina en cristales tabulares en ocasiones acompañando a los opacos y como producto de alteración; cordierita escasa alterándose a sericita, cuarzo con contornos poligonales también microcristalino y secundario. En la lámina No. 63, la calcita aparece como mineral primario y una pequeña cantidad de epidota y feldespato potásico (Fig. 21).

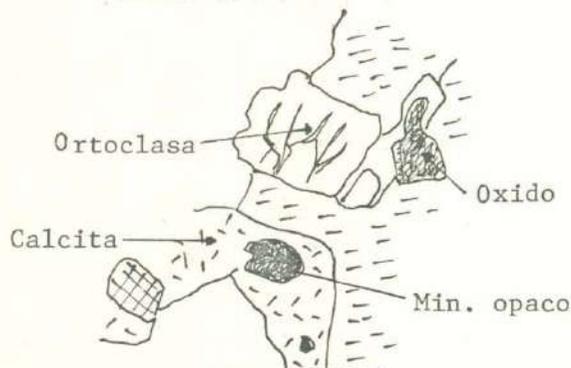
Por la mineralogía presente, podemos observar que el skarn se ha formado -



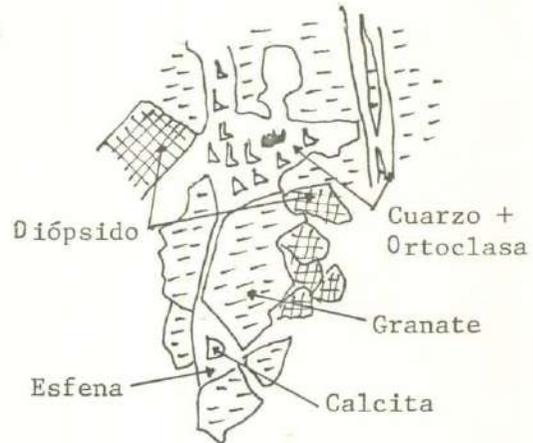
LAMINA 60 A (X 40)



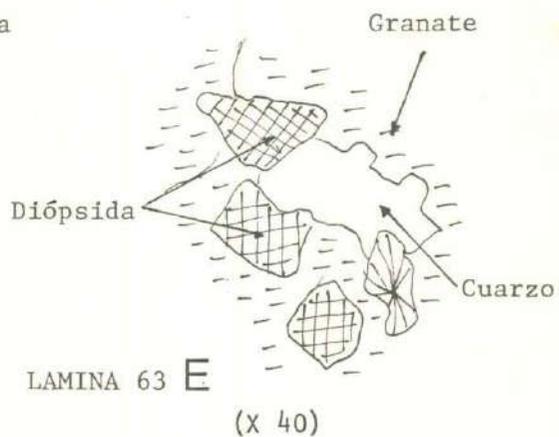
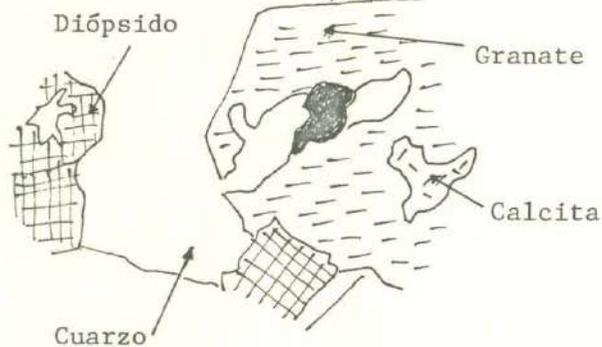
LAMINA 60 B (X 100)



LAMINA 63 C (X 40)



LAMINA 63 D (X 40)



LAMINA 63 E (X 40)

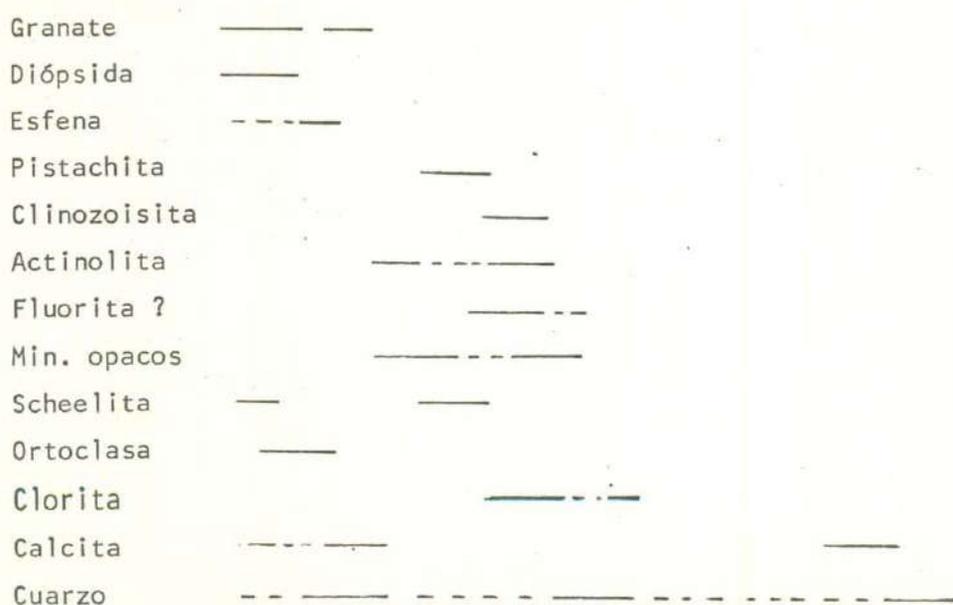
FIGURA 21.- RELACIONES MINERALOGICAS DEL SKARN DE LA MINA PATRICIA.

en las zonas donde las corneanas contienen mayor porcentaje de calcita.

En el skarn de esta mina, existen también zonas de cuarzo-epidota posteriores a éste, su mineralogía se aprecia en la lámina No. 60 (Fig. 21). Consiste de epidota (60 %) en grandes cristales zonados, que le dan una coloración verde limón a la roca y una textura granular. Cuarzo con extinción ondulante en cristales xenoblásticos que envuelven cristales irregulares de granate pardo, diópsida y esfena bien cristalizada. Los piroxenos se están alterando en gran parte a actinolita. Existe poca cantidad de fluoruro (fluorita) relacionada con la actinolita. Alteraciones posteriores son representadas por cloritización y vetillas de calcita y cuarzo.

Paragénesis. En esta zona el skarn tiene como minerales primarios granate y diópsida de grano fino, en bandas alternantes. Muestran una fase neumatolítica formada por cuarzo y feldespato potásico (en ocasiones mirmequíticos) y esfena, esta fase provoca la cristalización del granate que al crecer envuelve a los cristales de piroxeno, mientras que las zonas donde esta fase no afecta, la cristalización de grosularia y diópsida parece simultánea (Fig. 21 C y D). Después de esta fase los fluidos a más baja temperatura, producen una alteración retrógrada, muy bien desarrollada en la lám. No. 60, dando lugar a rocas constituidas principalmente de epidota ferrífera más cuarzo, que señalan una fugacidad de oxígeno grande en esta etapa (Shimazaki, 1981). Otros minerales comunes de alteración o introducción hidrotermal, formados en esta etapa son: actinolita a partir del piroxeno, fluoruro (fluorita), calcita, sulfuros (pirita calcopirita) y clorita.

#### SÉCUENCIA PARAGENETICA MINERAL DEL SKARN DE LA MINA PATRICIA.



Por último vetillas de calcita y cuarzo atraviesan la roca y reflejan los últimos cambios en ella.

En la lámina 60, formada casi completamente en el segundo estadio, se encuentran pequeños remanentes de los minerales primarios (granate y diópsida) inmersos en el cuarzo, el cual presenta extinción ondulante. La esfena muy bien cristalizada en esta roca se considera como primaria relacionada al granate -- (Fig. 21 B).

#### d) Mina San Esteban.

Se localiza a 1 km. al NW del Torreoncito, según la carta INEGI "Bacanora" esta mina fué explotada por plata. Actualmente se encuentra abandonada. Consta de algunos socavones y un tiro.

Se observan dos tipos de roca en esta zona, una completamente alterada, deleznable, de color gris-rojizo, semejantes a capotes de oxidación producidos -- por una fuerte lixiviación. Se encuentra como remanente de erosión sobre un -- mármol de color gris claro con abundancia de sulfuros (pirita, calcopirita) diseminados. Los terreros de la mina están formados por esta roca.

La lámina delgada No. 72, muestra un mármol muy puro (80 % de calcita), acompañada por clorita (12 %) fibrosa y radial, epidota como accesorio en un 2 % y gran cantidad de minerales opacos (pirita, calcopirita y galena).

Es evidente que la clorita, epidota y minerales opacos están relacionados y son introducidos por fluidos hidrotermales posteriormente al termometamorfismo que afectó a la caliza. Vetillas de calcita reflejan efectos de las últimas circulaciones.

La lámina No. 43 es una roca producto de reemplazamiento hidrotermal, formada por cuarzo (30 %) xenoblástico, con extinción ondulante y bordes de crecimiento envolviendo a pequeños cristales de epidota, la cual está presente en un 30 % en sus variedades pistachita y clinozoisita, contiene inclusiones de granate; la clorita 15 % en cristales tabulares y rellenando espacios se encuentra alrededor de minerales opacos (10 %) al igual que la epidota. Plagioclasa y ortoclasa (3 %) en cristales pequeños. Como accesorios esfena, apatito y circón en un porcentaje menor al 1 %.

La misma paragénesis hidrotermal de epidota y clorita, sílice y sulfuros -- está presente en esta lámina, lo cual sugiere, aunado a las observaciones de -- campo, que este yacimiento se formó por reemplazamiento hidrotermal acentuado -- por un enriquecimiento supergénico producto de infiltración de aguas meteóricas en la roca que cubre los mármoles y que posiblemente fué una roca volcánica.

## VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La Sierra La Campanería está constituida principalmente de rocas ígneas - plutónicas y potentes series metasedimentarias. En estas últimas se reconocen dos dominios: uno inferior netamente carbonatado llamado Fm. Las Tierras, después del cual, se produce un cambio notable en las condiciones de sedimentación tomando lugar, una depositación predominantemente detrítica denominada Fm. Chubisco. Este cambio se llevó a cabo a fines del Carbonífero-principios del Pérmico. La última unidad es sobreyacida por una Formación de ambiente marino con condiciones alternantes de depósito (Fm. El Venado) detrítico y carbonatado con fusulínidos datados del Pérmico inferior (Leonardiano). Esto indica claramente que la depositación detrítica en Sonora Central inicia más temprano, como fué sugerido por otros autores (Menicucci et al, 1981)

Las rocas plutónicas tienen dimensiones batolíticas, tomando en cuenta sus alforamientos y la aureola metamórfica de contacto que ha producido. Están compuestas por una serie continua de granito a granodiorita. Afloran además rocas básicas, principalmente dioritas, que por su carencia de cuarzo son discontinuas con la serie anterior y parecen representar las primeras etapas de diferenciación, siendo asimiladas en parte y metamorfizadas térmicamente por las rocas ácidas.

Afloran rocas foliadas en un área relativamente reducida, cuya edad y origen es aún incierta.

En los valles se encuentran rocas volcánicas con brechas y tobas asociadas, que han sido agrupadas en dos dominios que al parecer pertenecen a la misma serie calcoalcalina: Un vulcanismo intermedio representado por coladas y diques andesíticos a latandesíticos, y un vulcanismo ácido formado por riolitas, riodacitas e ignimbritas. Entre ambos dominios se encuentra un pequeño espesor de rocas vulcanosedimentarias. Mas o menos contemporáneo al vulcanismo ácido, se deposita una secuencia de conglomerados y brechas sedimentarias con algunas interestratificaciones de tobas, agrupados bajo el nombre de Fm. Baúcarit. Tanto las capas volcánicas como los conglomerados se depositan en un medio continental de condiciones variables.

Las estructuras principales del área, son fallas normales con rumbos NNW-SSE y NE-SW atribuidas a eventos distensivos que inician en el Terciario medio y continúan quizás hasta el Pliocuaternario.

Otros eventos importantes son las etapas de plegamiento, de las cuales se reconocen al menos dos, uno con pliegues recostados con ejes NW 45° en prome--

dio, de escala decamétrica e isoclinales, el cual se correlaciona a eventos compresivos del Jurásico superior. Otro posterior, con pliegues isópacos más -- amplios con ejes NNW-SSE el cual se puede referir al Cretácico superior.

Otra etapa de magnitud limitada, representada por fallamiento inverso, indica la última etapa compresiva en el sector, asignada como del Paleoceno.

La mayor parte de los yacimientos en el área de estudio, son skarns formados por circulación de fluidos metasomáticos en una roca encajonante carbonatada comúnmente de la Fm. Las Tierras o del Miembro Toneles. Las estructuras provocadas por los eventos compresivos antemetamórficos: pliegues, fallas inversas y diaclasas, favorecen la circulación de los mismos.

La mineralización en los skarns es de tungsteno (scheelita, a veces powelita), molibdeno (molibdenita), calcopirita. También hay mineralización de plata en los raros yacimientos formados por reemplazamiento hidrotermal sin skarn.

Otros minerales de ganga de los skarns con pirita, pirrotita, marmatita (esfalerita) y magnetita.

En los yacimientos de skarn se reconocen tres etapas al decrecer la temperatura: 1) formación de minerales primarios, mineralización de scheelita; 2) alteración hidrosilicatada de los minerales primarios (granate, diópsida, idocrasa) con removilización, introducción y depositación de scheelita y sulfuros -- (molibdenita, pirita, calcopirita, marmatita, etc.) . Los fluidos han aportado Si, Fe, Al, Mg, F, W y otros elementos. La roca encajonante pierde  $H_2O$ ,  $CO_2$  y  $O_2$  durante los procesos metamórficos y metasomáticos. 3) circulación hidrotermal a bajas temperaturas presente en forma de vetillas de cuarzo, epidota y calcita.

Se considera una temperatura de formación para las dos etapas iniciales de 600 a 400 °C. Una cobertura sobre el skarn de 4 a 4.5 km. que da una presión -- de 1.5 a 1.2 kb. en el contacto.

Los yacimientos minerales no fueron evaluados en sus reservas, pero en los estudios macroscópicos con ayuda de luz ultravioleta, señalan una concentración importante de scheelita y molibdenita. Las vías de comunicación requieren reparación, sin embargo algunas aún son transitables. Entonces la explotación está supeditada al valor de los metales en el mercado pero en un momento determinado esta zona puede convertirse en una de las más importantes productoras de tungsteno en el Estado de Sonora.

Se recomienda estudios detallados de áreas específicas, con el fin de determinar la génesis tanto de las rocas esquistosas como de las rocas básicas -- plutónicas. Así mismo, se requiere un estudio regional que integre los conoci-

mientos aislados sobre las rocas desde el Paleozoico inferior hasta el Jurásico, con el fin de unificar la nomenclatura y definir límites precisos de las Formaciones definidas en estos periodos, como por ejemplo el Grupo Barranca y otras formaciones detríticas definidas en Sonora Central.

En la mina La Norteña se recomienda perforaciones en las áreas mineralizadas, con el fin de conocer los límites del skarn y por consiguiente de la mineralización (dichos barrenos no serían muy profundos). Este conocimiento permitiría evaluar el potencial real de la mina y trazar un sistema de explotación adecuado de acuerdo a la morfología de la mineralización, ya sea a tajo abierto o por medios subterráneos.

## VII. BIBLIOGRAFIA.

- Aguirre R.J.L. y Figueroa M.G. (1983). Estudio Geológico-minero del lote La Norteña Reporte Interno. Dirección de Min. Geol. y Energ. Gob. del Edo.
- Alencaster G. (1961). Estratigrafía del Triásico superior de la parte Central del Edo. de Sonora. Parte I. Inst. de Geol. UNAM.
- Almeida L. y Martínez H.L. (1981). Estudio palinológico preliminar del Cretácico superior de la Cuenca de Cabullona, Son. Méx. III Coloquio sobre paleobotánica y palinología, Memorias, No. 86, INAH p. 213-227.
- Alvarez M.A. (1949) Notas sobre el Paleozoico mexicano. Asoc. Mex. Geol. Petroleros. Bol. 1 pp. 47-56.
- Anderson T.H. and Silver L.T. (1974) Late Cretaceous plutonism in Sonora, México, and its relationship to circum-Pacific magmatism. Geol. Soc. Am. Rocky Mountains Section; Annual Meeting Abstracts with programs, 6 pp. 484.
- Anderson T.H., Eells J.H. y Silver L.T. (1978) Rocas Precámbricas y Paleozoicas de la región de Caborca, Son. Méx. Libreto Guía del Primer Simposio sobre la Geología y Potencial minero del Edo. de Son. Inst. de Geol. UNAM. pp 5 - 34.
- Anderson T.H., Silver L.T. y Salas G. (1980) Distribution and U-Pb isotope age of some lineated plutons, northwestern Mexico. Geol. Soc. Am. Memoir 153 pp. 269-283.
- Anderson T.H., Cohen K.K., Schmidt V.A. (1981) Tectonic implications of initial paleomagnetic results from Mesozoic units in Northwestern Mexico. - Geol. Soc. Am., Abstract with Program.
- Araux S.E. (1982) El Tungsteno en Sonora (Recopilación bibliográfica) Inédito. Dirección de Minas, Geol. y Energ. del Gob. del Edo.
- Aubouin J, Brousse R, Lehman J.P (1981) Petrología. Tratado de Geología. Tomo I. Ed. Omega, S.A. España.
- Autran A, Derré C., Fonteilles M, Guy B., Soler P., Toulhoat (1980). Genese des skarns a tungstene dans les Pyrenées. Mineralisations Liées aux granitoides. Deuxieme Partie Mémoire du BRGM No. 99 Orléans, Francia.
- Burnol L, Geoffroy J, Soler P. (1978). Le Tungstene, ses principaux types de gisement. Chronique de la Recherche miniere, No. 441 pp 27-44 et No. 443 pp. 27 - 43.
- Burt D., Petersen U. (1974) Características Generales de Yacimientos en skarns. Bol. Soc. Geol. del Perú. Tomo XLIV pp. 42-79.
- Caliens L. (1975) Geología del área del Proyecto "Los Verdes" Son. Méx. Reporte Interno. Serv. Industriales Peñoles.
- Cooper A., Arellano A.R., Harlan J., Okulitch V.J., Stoyanov A., Lochman C, (1956). Geología y Paleontología de la Región de Caborca, Norponiente de Sonora. Parte No. 1. Paleontología y Estratigrafía del Cámbrico de Caborca. XX Congreso Geológico Internacional. Inst. Geol. UNAM pp 6-40.
- Córdoba B.H. y Montijo C.O. (1983) Geología del Area Sur del Depósito de Barita de Cobachi, Son. Tesis Profesional. Depto. de Geol. Univ. de Son.
- Chávez J.M. (1978) Geologie et Metallogenie de la Sierra d' Aconchi, Ph. D. Thesis. L'Université Pierre et Marie Curie.

- Damon P.E and Bickerman M. (1964) Potassium-Argon dating of post-Laramide plutonic and volcanic rocks within the Basin and Range Province of Southeastern Arizona and adjacent areas. Arizona Geological Soc. Digest V. 7, -- pp. 63 - 78.
- Damon P.E, Shafiqullah M., Roldán Q.J., Cochemé J.J. (1983) Batolito Laramide de Sonora (90-40 m.a.) XV Convención Nac. AIMMG. pp. 63-95
- Damon P.E, Shafiqullah M. and Clark K.F. (1981) Age Trends of igneous activity in relation to Metallogenesis in the Southern Cordillera. Relation of Tectonics to Ore deposits in the Southern Cordillera. Vol. XIV Arizona -- Geological Soc. Digest.
- Deal E.G., Elston W.E., Erb E.E., Peterson S.L., Reiter D.E. (1981) Cenozoic volcanic geology of the Basin and Range province in Hidalgo County, Southwestern New Mexico. 29 th. Field Conf. Land of Cochise, New Mexico Geol - Soc. Guidebook, pp. 219-229.
- Deer W,A,, Howie R,A, and Zussman J. (1962) Rock Forming Minerals 1. Longmans London.
- Denisenko V.K. (1975) Classification des gisements de tungstene a des fins - prévisionnelles. Zap V ses Mineral O-Va SSSR (Trad. BRGM No. 5 pp. 493)
- Departamento de Estudios Económicos (1977) El tungsteno y sus productos. Banco Nal. de Comercio Exterior, S.A. Méx. D.F. Vol 27 No. 6 pp 725-738 No. 7 pp. 865-874, No. 9. pp. 1131-1140, Vol 28. No. 1 pp. 113-119.
- Dumble E.T. (1900) Notes on the Geology of Sonora, Mexico. Am. Inst. Min. Eng Trans., 29 pp. 127-152.
- Dunbar C.O. (1980) Geología Histórica CECSA. D.F. México 556 p.
- Dunham R.J. (1962) Classification of Carbonate rocks according to depositional texture, in Classification of Carbonate rocks, a symposium: Am. Assoc. of Petroleum Geologists. Memoir 1.
- Einaudi M.T. et al (1981) Skarn Deposits. Economic Geology 75 th. Anniversary volumen, pp. 317-391.
- Fonteilles M, Guiradie Ch, Passaqui B, Prouhet J.P. (1969) Un nouveau type - de Minéralisation en tungstene et sulfures dans les pyrénées francaises - Chron. Min. Rech. Min. France No. 386 pp. 255-262.
- Fries C. Jr. (1962) Reseña de la Geología del Estado de Sonora con énfasis - en el Paleozoico. Asoc. Mex. de Geol. Petroleros. Bol. V. 141.
- Gastil G, Krummenacher D. (1978) The Migration of the axis of Pacific margin magmatism across Baja California, Sonora and Chihuahua. Resúmenes. Primer Simposio sobre la Geol. y Potencial Minero del Edo. de Son.
- Gómez C.A., Nieto J.O., Shafiqullah M., Ariaga H.M., Carrillo P.A., Cerecero J.M. (1981) Miocene Borax deposit in the Tubutama area Northwest Sonora, Mexico. Geol Soc. Amer. Abstract with Program. Cordilleran Sector, Hermosillo, p. 58.
- González L.C. (1982) La Formación Antimonio (Triásico superior-Jurásico inferior) en la Sierra del Alamo, Edo. de Son. Bol. Notas Geológicas AEGUS y SGM No. 3.
- González R.J. (1956) Los Yacimientos de Tungsteno en México. Libro de Riqueza Minera y Yacimientos Minerales. Méx. Banco de Méx. S.A.

Wiese J.H. y Cárdenas S. (1946) Los yacimientos de Tungsteno en la parte -- Sur del Edo. de Sonora. Comité directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México.

Williams H., Turner F.J. y Gilbert Ch. M. (1983) Petrografía. CECSA. 1a. -- Edición. México D.F. 430 p.

Wilson I.V. y Rocha V.S. (1946) Los yacimientos de Carbón de la región de -- Santa Clara, Mpio de San Javier, Edo. de Son. Comité Investigador. Recur-

- Gordon T.M. and Greenwood H.J. (1971) The stability of grossularite in  $H_2O - CO_2$  mixtures Amer.Min., 56 pp 1974-1688.
- Greenwood H.J. (1967) Wollastonite: Stability in  $H_2O-CO_2$  mixtures and occurrence in a contact - metamorphic aureole near Salmó, British Columbia, Canada. Amer. Mineral. 52 pp 1669-1680.
- Gunlach H. et Thorman W. (1960) Versuch einer Deutung der Entstehung von wolfram und Zinnlagerstätten Zeit Deutsch Geol. Geo, 112.
- Hewett R.L. (1978) Geology of the Cerro La Zacatera Area Sonora, Mex. M.S.Th. Northern Arizona University.
- Himanga J.C. (1977) Geology of the Sierra Chiltepin, Sonora, Mex. M.S. Th. - Northern Arizona University.
- Hirschberg A. and Winkler G.H. (1968).Stabilitätsbeziehungen zwischen chlorit, cordierit und almandin bei der Metamorphose: Contr. Mineralogy Petrology. V.18 pp 17-42 .
- Hochella M.F, Liou J.G, Keskinen M.J. and Kim H.S. (1982) Synthesis and stability Relations of Magnesium Idocrase. Econ. Geol. V.77 No. 4 pp 798-808.
- Huang W.T. (1968) Petrologia UTHEA Primera Edición. D.F. México.
- Imlay R.W. (1939) Paleogeographic studies in Northeastern Sonora. Geol. Soc. - Amer.Bull. V.50 pp 1723-1744.
- Ito J. and Arem J.E. (1970) Idocrase: Synthesis, phase relation and crystal - chemistry: Am. Mineralogist, V. 55 pp 880-912.
- Keller W.T. (1928) Stratigraphische Beobachtungen in Sonora (Nordwest Mexico) Eclogal Geol. Helv. V. 21 pp 327- 335.
- King R.E. (1939) Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico Geol. Soc. of Amer. Bull. V.50 pp 1625-1722.
- \_\_\_\_\_ (1949) Pretertiary history of Sierra Madre Occidental of Sonora and Chihuahua and some adjacent part of Central Sonora. Proc. 6 th. Pacific. - Sci. Congr. V.1 pp 217-222.
- Krausopf K.B. (1967) Introduction to geochemistry New York. Mac Graw Hill.
- Longoria J.F. y Gonzalez M.A (1979) Estudios Estratigráficos-Estructurales en el Precámbrico de Sonora :Geología de los cerros Gamuza y el Arpa. Bol. - del Dpto. de Geol. Univ. de Sonora. V. 2 No. 2 pp 106-149.
- Mac Kenzie W.S, Donaldson C.H. and Quilford C. (1982) Atlas of igneous rocks and their textures. Halsted Press.
- Mattauer M. (1976) Las Deformaciones de los Materiales de la Corteza Terrestre Ed. Omega. S.A. 1a. Edición.
- Mc. Dowel F.W. and Clabaugh S.E. (1979) Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico.Geol. Soc. Amer. spec. paper 180, pp 113 - 124.
- Menicucci S. (1975) Reconnaissance geologique et miniere de la région entre - Hermosillo et le rio Yaqui (Sonora Central, Mexique) Th. D. Grenoble,Fr.
- Menicucci S, Mesnier H.Ph and Radelli L. (1982) Permian, Triassic and Liassic Sedimentation (Barranca Formation) of Central Sonora, Mex. Bol. Notas Geológicas AEGUS y SGM. No. 3.
- Merriam R y Eells J.C. (1978) Reconnaissance Geologic Map of the Caborca Quadrangle, Son. Mex. Bol. del Dpto. de Geol. Univ. de Son. V.1 No.2 p 87-94.

- Newberry R.J. and Einaudi M.T. (1981) Tectonic and Geochemical Setting of -- Tungsten skarn mineralisation in the Cordillera. Relations of Tectonics - to Ore Deposits in the Southern Cordillera. V. XIV Arizona Geol. Soc. Digest. pp. 00-111.
- Newberry R.J. (1982) Tungsten-Bearing Skarns of the Sierra Nevada. The Pine Creek Mine, California. *Econ. Geol.* V. 77 pp. 823-844.
- Noll J.H. (1982) Geology of the Picacho Colorado Area, Northern Sierra de Co-- bachí, Central Sonora, Mex. M.S. Th. Northern Arizona University. Flagstaff.
- Peabody C.E. (1979) Geology and Petrology of tungsten skarn El Jaralito, Baviácora, Son. Mex. M.S. Th. Stanford University.
- Pérez S.E. (1982) Reporte de la visita efectuada a la Mina La Norteña. Reporte interno. Dirección de Minas, Geol. y Energ. Gob. del Edo. de Son.
- Pérez S.E. y Echávarri P.A. (1981) Carta Metalogenética de Son. Dirección de Minería, Geol. y Energ. Gob. del Edo. de Son.
- Pettijohn F.J. (1975) *Sedimentary Rocks*, Third Edition, New York. Harper and Row 628 p.
- Phan K.D. (1979) Gisements de tungstene et de metaux associes en Europe Occidentale. *Chron. de la Recherche Miniere* No. 450 pp. 1-49.
- Radelli L. (1983) Scheelite deposits of Central Sonora, Mex. Inédito.
- Rangin C. (1977) Tectónicas sobrepuestas en Sonora Septentrional. *Revista.* - Vol. i Inst. de Geol. UNAM pp. 44-47.
- \_\_\_\_\_ (1978) Geología de Sonora y sus relaciones con áreas adyacentes. - Resúmenes. Primer Simposio sobre la Geol. y potencial Minero en el Edo. - de Son. Inst. de Geol. UNAM. pp. 103-105.
- \_\_\_\_\_ (1982) Contribution a l'étude Geologique du systeme Cordillérain - du Nord-Ouest du Mexique. These de Doctorat d'Etat et Sciences. Académie de Paris. Université Pierre et Marie Curie.
- Rangin F. (1978) Consideraciones sobre el Paleozoico Sonorense. Resúmenes. Primer Simposio sobre la Geol. y potencial Minero del Edo. de Son. pp 107 109.
- Schmidt G.T. (1978) Geology of the Northern Sierra El Encinal, Sonora, Mex. M.S. Th. Northern Arizona University.
- Shimazaki H. (1977) Grossular-spessartine-almandine garnets from some Japanese scheelite skarns, *Canadian Mineral* 15 pp. 74-80.
- \_\_\_\_\_ (1980) Characteristics of skarn Deposits and Related Acid Magmatism in Japan. *Econ. Geol.* V. 75 pp. 173-183.
- \_\_\_\_\_ (1981) Skarn Deposits and related Acid igneous activities. *Publicación* No. 1. Dirección de Minería, Geol. y Energ. del Gob. del Edo. de Son.
- Streckeisen A. (1973) Classification and nomenclature of igneous rocks. *N. Jb. Mineral Mh.* 4 pp. 149-164.
- Stump y Beauvais (1976) Corals, Molluscs and Paleogeography of late Jurassic strata of the Cerro Pozo Serna, Son. Mex. Elsevier Scientific Pub. Co. Amsterdam. Holanda V. 19 pp. 275-301.
- Taliaferro N. (1933) An Occurrence of Upper Cretaceous sediments in northern

- Sonora. Journ. Geol. 41; pp 12-37.
- Tardy M. (1980) Contribution a l'étude géologique de la Sierra Madre Orientale du Mexique. Th. Etat. Université Pierre et Marie Curie. 459 p.
- Torres R.R. (1982) Reporte de la visita al prospecto La Norteña, La Esperanza y El Novillo, localizados en el Mpio. de Bacanora, Son. Reportes internos. Dirección de Minería, Geol. y Energ. del Gob. del Edo. de Son.
- Tucker M.E. (1981) Sedimentary Petrology: an Introduction. Blackwell Scientific Publications. Geoscience Text. V. 3.
- Turekian K.K. y Wepphol (1961) Distribution of the elements in some major units of the earth crust. Bull. Geol. Soc. Amer. U.S.A. 72 No. 2.
- Volfson F.I. y Yákovlev P.D. (1982) Estructuras de los Campos y Yacimientos Metalíferos. Ed. Mir. Moscú.
- Whitten D.G. y Brooks J.R. (1980) Diccionario de Geología. Alianza Editorial.
- Wenk C. (1963) Neves Jahrb Mineral Monatsh 1963. 97-107.
- Wiese J.H. y Cárdenas S. (1946) Los yacimientos de Tungsteno en la parte Sur del Edo. de Sonora. Comité directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México.
- Williams H., Turner F.J. y Gilbert Ch. M. (1983) Petrografía. CECSA. 1a. Edición. México D.F. 430 p.
- Wilson I.V. y Rocha V.S. (1946) Los yacimientos de Carbón de la región de Santa Clara, Mpio de San Javier, Edo. de Son. Comité Investigador. Recursos Minerales (México) Bol. 9; 108 p.
- Winkler H.G. (1978) Petrogénesis de rocas metamórficas H. Blume Ediciones.

## VIII. APENDICES.

### 1) Clasificaciones.

#### a) Clasificación de Rocas Sedimentarias.

Para ordenar estas rocas se utilizó la Clasificación genética de Pettijohn (1959). En el caso de las rocas carbonatadas, se utilizó la Clasificación de Dunham, basada en la textura deposicional y la de Folk, basada en la composición.

Para las rocas detríticas se usó la Clasificación granulométrica de V.T. Allen, tomada de Huang (1968, pp 225).

Específicamente para el tamaño del grano de las areniscas se siguen los siguientes criterios :

Grano muy grueso	2 - 1 mm.
Grano grueso	1 - 1/2 mm.
Grano medio	1/2 - 1/4 mm.
Grano fino	1/4 - 1/8 mm.
Grano muy fino	1/8 - 1/16 mm.

#### b) Clasificación de Rocas Metamórficas.

La nomenclatura se toma básicamente de la Clasificación de Huang (1968), basada en el tipo de metamorfismo, textura, estructura y composición mineralógica. Se considera importante hacer las siguientes especificaciones :

Mármol : Roca metamórfica formada del 50 % de carbonato.

Cuarcita : Roca metamórfica con más del 50 % de cuarzo de grano medio a grueso.

Corneana : Roca metamórfica de grano fino a muy fino, de cristales equidimensionales con textura granoblástica.

Así mismo se utilizó la clasificación de facies de Turner (1968)\* complementada por la Clasificación de grado metamórfico de Winkler (1978).

#### c) Clasificación de Rocas Igneas.

Las rocas plutónicas se clasificaron según el Diagrama de Streckeisen (1973) Para las rocas volcánicas se utilizó el Diagrama de Jung y Brousse (1965).

Para las rocas vulcanosedimentarias se utilizó la Clasificación granulométrica de V.T. Allen (1934) mencionada anteriormente.

El Tamaño del grano en las rocas ígneas en general, se considera según la relación siguiente:

Grano muy grueso	mayor de 1 cm.
Grano grueso	5 mm. a 1 cm.
Grano medio	1 mm. a 5 mm.
Grano fino	menor de 1 mm.

\* Tomado de Williams et al (1983) Petrografía CECSA.



## 2) La importancia del Tungsteno.

### a) Generalidades.

#### Propiedades y Usos.

Fué descubierto por Karl Scheele en 1781, quién aisló y experimentó con este metal, dos años después los hermanos Elhuyar obtuvieron este elemento a partir de la wolframita. El nombre de wolframio fué adoptado oficialmente en 1949. Sin embargo hasta el siglo XIX empieza a utilizarse industrialmente.

El Wolframio es un elemento de transición del subgrupo VII de la clasificación periódica, junto con el Cromo, Molibdeno y Uranio con los que presenta analogías. Químicamente es muy estable, no se disuelve con el ácido clorhídrico ni sulfúrico.

Sus propiedades físicas son: el punto más alto de fusión de todos los metales (alrededor de  $3410^{\circ}$  C), un peso específico elevado de 19.3, el más elevado módulo de elasticidad, poca compresibilidad y bajo coeficiente de expansión termal. Es el único metal que combina las cualidades de conductividad eléctrica y termal, resistencia al desgaste, a los ácidos y a las altas temperaturas. Estas características las transfiere a las aleaciones (principalmente con Fe, Co, Ni, Cr y Mo), así como a los compuestos de Carbón (carburos) y con Boro (boruros).

Es demasiado refractario para ser fundido y colado como otros metales, por lo que su preparación en formas dúctiles indica una gran avance metalúrgico.

Se utiliza en distintas industrias como son, la industria del acero, química, electro-técnica, textil, aeronáutica, del armamento, aeroespacial, de la pintura, etc.

Los procesos de producción y los productos finales se encuentran resumidos en la Tabla 10.

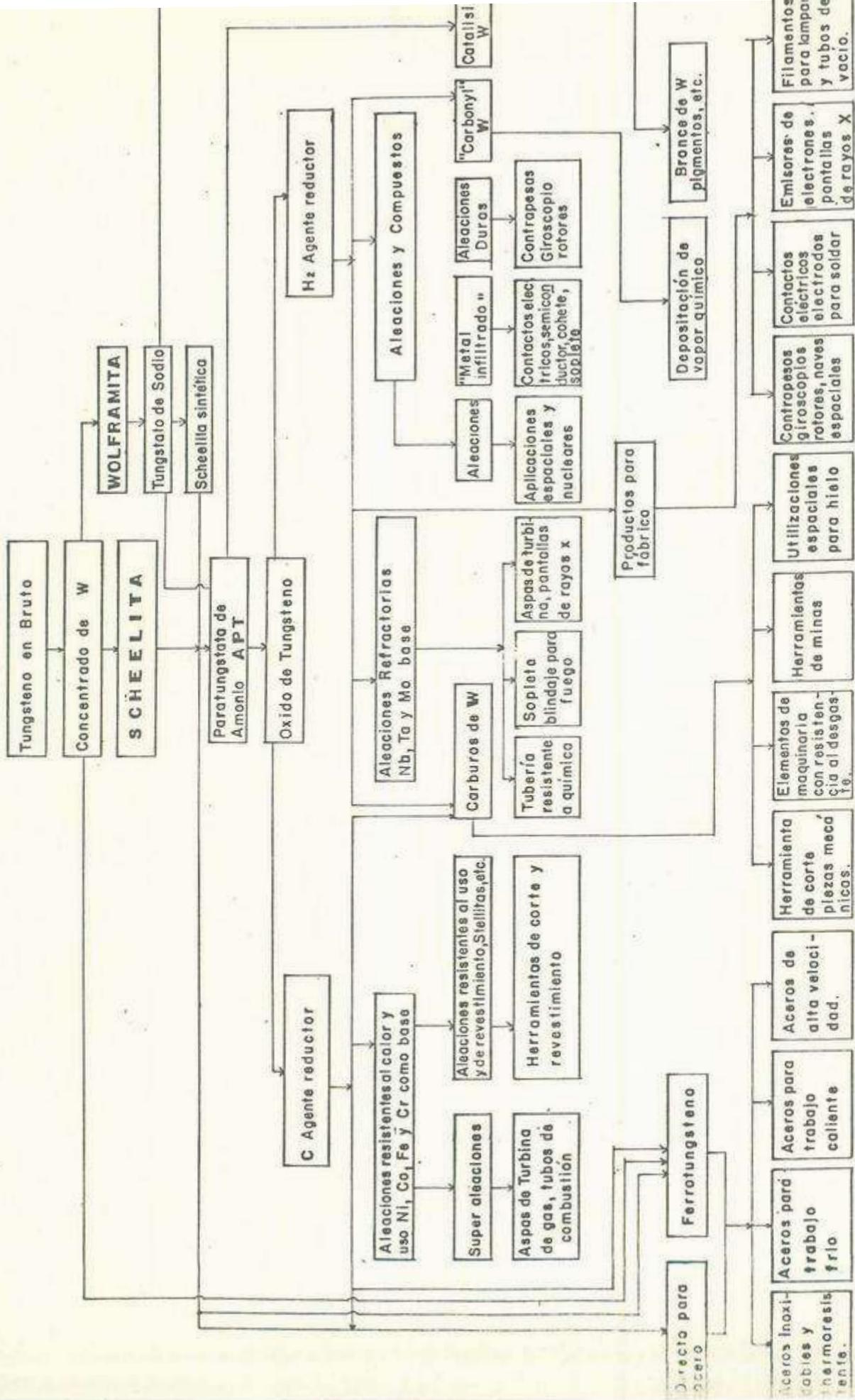
#### Distribución en la Corteza Terrestre.

El tungsteno posee cinco isótopos naturales y tres artificiales (radioactivos).

La media global del tungsteno ha sido estimada por Krauskoff (1967) de 1 a 2.3 p.p.m. en la corteza terrestre y de 0.1 p.p.b. en el agua del mar.

Se han efectuado medidas en diferentes tipos de rocas para establecer el contenido medio de tungsteno, así según Turekian y Wepphol (1961) se tiene:

PROCESOS DE PRODUCCION DE TUNGSTENO Y APLICACIONES



### Rocas Intrusivas.

Rocas Ultrabásicas	0.77 p.p.m.
Basaltos en general	0.7 p.p.m.
Sienitas en general	1,3 p.p.m.
Granitos ricos en Ca.	1.3 p.p.m.
Granitos alcalinos	2.2 p.p.m.

### Rocas Sedimentarias.

Sedimentos argiláceos	1.8 p.p.m.
Areniscas	1.6 p.p.m.
Calizas y Dolomías	0.6 p.p.m.
Fondos oceánicos	insignificante.

Aquí se muestra que los granitos alcalinos son las rocas donde el tungsteno es más abundante, aunque ciertas rocas sedimentarias pueden presentar una media elevada.

Las medidas efectuadas en los minerales esenciales de las rocas intrusivas son :

	Fuera de los yacimientos	Cerca de los yacimientos
Cuarzo		
Anfíbol	1.0 p.p.m.	
Piroxeno		
Feldespato	1.0 p.p.m.	100 p.p.m.
Micas	5 a 10 p.p.m.	500 p.p.m. *

\*muscovita en el lugar de la alteración.

Las micas parecen ser las portadoras preferenciales, aunque los fuertes contenidos observados en \* pueden corresponder a anomalías de dispersión primaria.

### Mineral.

El tungsteno es básicamente litófilo, todos sus minerales (excepto la tungstita  $WS_2$ ), son formados a partir del óxido de wolframio  $WO_3$ . Se conocen una veintena de minerales pero solo la scheelita y los minerales de la serie de la wolframita son económicamente explotables.

### Serie de la Wolframita.

Mineral duro (frágil)	densidad	dureza
Hubnerita ( $MnWO_4$ ) (0 a 20 % átomos de Fe)	7.12	4

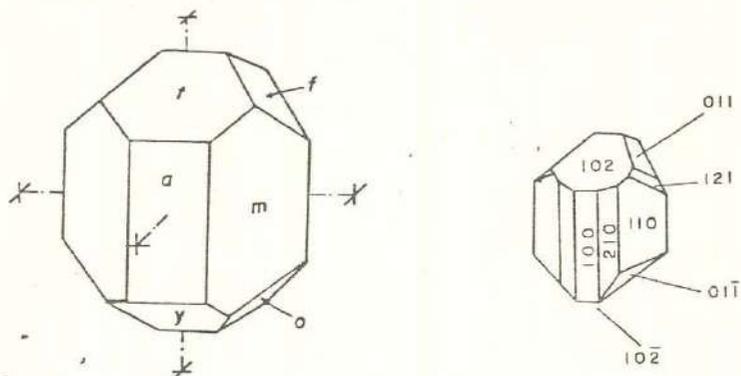
Wolframita  $(Mn, Fe)WO_4$   
 Ferberita  $(FeWO_4)$   
 (0 a 20 % átomos de Mn)  
 Sistema monoclinico.

densidad

dureza

7.51

5.5



Cristal de Wolframita. Formas Pinacoides

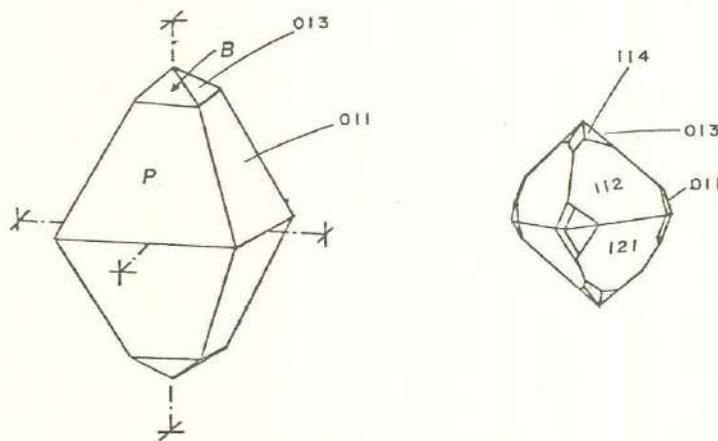
$a \{100\}$ ,  $r \{102\}$        $y \{102\}$   
 prismas  $m \{110\}$      $y f \{011\}$

Figura 22

Scheelita  $CaWO_4$

Tetragonal, Densidad 6.1, Dureza 4 a 5.5, color blanco amarillento.

Es fluorescente en azul con luz ultravioleta, este color cambia a amarillo cuando el Mo sustituye al W. Normalmente el Mo, es menor del 3 % pero en la seyrigita hay 24 % de Mo, la forma general se llama powellita  $Ca (Mo,W) O_4$ .



Cristal de Scheelita. Formas: Bipiramidales tetragonales

$p \{101\}$      $y B \{103\}$

Figura 23

### Minerales de Alteración.

Tungstita  $WO_3 \cdot H_2O$

Hidrotungstita  $WO_3 \cdot 2H_2O$

Cuprotungstita  $Cu_2 WO_4 (OH)_2$

Ferritungstita  $Ca_2 Fe_4 (WO_4)_7 \cdot 9H_2O$

Estos minerales se encuentran a veces como producto de alteración superficial de la scheelita o de la wolframita.

### Alteración superficial y Erosión.

Los dos minerales principales del tungsteno para la economía que son la scheelita y la wolframita, son relativamente resistentes a la acción de las aguas superficiales, así el lavado de los aluviones ha desempeñado un papel a veces importante dentro de la producción, aunque con un pH mayor de 9 (trabajo de Bryzgalin, 1960), la wolframita y la scheelita son atacadas cuando las aguas superficiales se encuentran acidificadas por la alteración de los sulfuros asociados. En condiciones semiácidas se forma cuprotungstita y ferritungstita.

Dentro de las fisuras de cuarzo se puede producir una reprecipitación de scheelita, la cual frecuentemente enmascara los valores en el examen de luz ultravioleta.

### Procesos Magmáticos e Hidrotermales.

El comportamiento del tungsteno es difícil de conocer, pues contrariamente al estaño, no subsiste dentro de las rocas intrusivas a las cuales están asociados ciertos distritos mineralizados. Sin embargo dentro de algunos yacimientos (Echassieres en Francia, Barrueco Pardo en España) parece que la fase principal de mineralización en tungsteno está condicionada por la etapa de microclinización en el curso de la evolución petrográfica de los granitos (Burnø et al, - 1978).

A partir de la asociación frecuente wolframita-casiterita dentro de algunos yacimientos, así como la presencia común de minerales de flúor en las gangas (fluorita, topacio), el papel de los halógenos F o Cl, está bien establecido para el estaño, pero aún en discusión en lo que respecta al wolframio. Existen componentes volátiles de tungsteno ( $WF_6$ ,  $WCl_4$  ...) pero el cálculo termodinámico y las experiencias sobre las reacciones tipo  $WF_6 + 3H_2 WO_3 + 6 HF$  muestran que concentraciones elevadas de ácidos halógenos son necesarias para que éstas tengan importancia dentro del transporte de tungsteno.

Normalmente en el agua pura la solubilidad del  $WO_3$ ,  $CaWO_4$  y  $(Fe, Mn) WO_4$

es muy débil, pero los parámetros son numerosos, temperatura, pH, presión, contenido en sílice y en cationes, en función de éstos puede haber soluciones solubles con  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{WO}_4$  y ácidos sílico-túngsticos, como  $\text{H}_8\text{Si}(\text{W}_2\text{O}_7)_6$ . Según las experiencias de Gundlach y Thorman (1960), obtuvieron a temperaturas ambiente  $\text{FeWO}_4$  con pH 5.9,  $\text{MnWO}_4$  con pH 6.7 y  $\text{CaWO}_4$  con pH 7.3, pero ésta no ha sido probada experimentalmente más que para temperaturas que no pasan de 300 °C.

En lo que concierne al ambiente mineral los trabajos de Bryzgalin (1958) - son interesantes, donde se muestra que la scheelita puede precipitar por reacción entre una solución que contiene  $\text{Na}_2\text{WO}_4$  y una plagioclasa cálcica, hecho importante para una cristalización en presencia de gneis o de granitos cálcicos.

#### b) Clasificación de los Yacimientos de Tungsteno.

Se ha observado que el tungsteno no aparece siempre de la misma forma, existen diferencias ya sea en la morfología de los yacimientos dentro del ambiente geológico, en sus relaciones paragenéticas o en sus condiciones de génesis. Por ello se han hecho varias clasificaciones, con el fin de obtener una tipología de los yacimientos de tungsteno.

Las diversas clasificaciones han sido propuestas en base a la importancia que se daba a uno u otro de estos aspectos y las combinaciones entre ellos. Debido a la asociación del estaño con el tungsteno en ciertas provincias, las clasificaciones fueron con frecuencia establecidas para los dos minerales, sobre todo en el caso de los trabajos europeos localizados en una provincia estaño-tungstenífera.

Sin embargo, en América la asociación estaño-tungsteno es inexistente. La característica esencial de los yacimientos de tungsteno es su relación casi constante con rocas ígneas más o menos ácidas principalmente plutónicas (granitos en el sentido amplio) y menos frecuentemente en rocas volcánicas (riolitas, etc.). En el caso de plutones ácidos, el tipo de yacimiento depende primordialmente de la naturaleza de la roca encajonante, formándose filones con wolframita y a veces con scheelita, en rocas no calcáreas y skarns casi exclusivamente con scheelita en rocas calcáreas.

La clasificación usada en este trabajo es la realizada por L. Burnol et al 1978, basada en una agrupación anterior hecha por V.K. Denisenko (1975), la cual toma en cuenta la morfología del depósito (relación espacial entre las diferentes unidades que lo conforman) y la paragénesis.

## Clasificación de L. Burnol.

### A.- Yacimientos del Grupo Plutónico.

- 1.- Yacimientos pirometasomáticos (skarns o tactitas con scheelita)
- 2.- Pegmatitas.
- 3.- Yacimientos filonianos y asimilados con cuarzo-wolframita eventualmente con cuarzo-scheelita.
  - 3.a. Stockworks
    - 3.a.1. Stockworks extratolíticos
    - 3.a.2. Stockworks y vetillas sin relación conocida con un plutón.
  - 3.b. Mineralizaciones diseminadas intratolíticas de cúpulas.
  - 3.c. Filones y conjuntos filonianos.
    - 3.c.1. Filones de cuarzo con minerales del grupo de la wolframita exclusivamente.
    - 3.c.2. Filones cuarzosos con casiterita - wolframita.
    - 3.c.3. Filones cuarzosos con scheelita.
    - 3.c.4. Filones con cuarzo-scheelita-oro
  - 3.d. Los "pipes".

### B.- Yacimientos del Grupo Vulcano-Plutónico.

- 4.- Yacimientos vulcanoplutónicos de tungsteno y estaño.
  - 4.a. Yacimientos filonianos vulcano-plutónicos polimetálicos con tungsteno y estaño y sulfuros abundantes.
  - 4.b. Yacimientos de tungsteno y estaño diseminados en las riolitas.
- 5.- Yacimientos vulcanoplutónicos de tungsteno sin estaño.
  - 5.a. Yacimientos filonianos con cuarzo-hubnerita, sulfuros y sulfosales (tipo peruano)
  - 5.b. Yacimientos filonianos con cuarzo-ferberita (o scheelita) estibinita (tipo Boliviano)
  - 5.c. Yacimientos filonianos con cuarzo ferberita sin estibina (tipo Boulder).

### C.- Formaciones con Oxidos de Manganeso y Tungsteno.

### D.- Yacimientos del Grupo Sedimento-Metamórfico.

- 6.- Yacimientos "sedimento-metamórfico" estratiformes.
- 7.- Yacimientos filonianos encajonados en los niveles estratigráficos particulares.

### E.- Placeres con Tungsteno.

En ocasiones el tungsteno puede constituir un producto asociado a menas de otros metales, en México por ejemplo se puede encontrar la asociación frecuente con molibdeno.

Los dos primeros tipos de la clasificación de Burnol, producen el 95 % del tungsteno en el mundo. Los otros tipos son secundarios, particularmente los yacimientos de placer donde no se espera descubrir nuevas reservas.

### c) Repartición en el Mundo y Producción.

#### Distribución.

La figura 24 (Chronique de la Recherche Miniere, 1978) indica la distribución de los principales yacimientos o distritos productores de tungsteno o en preparación en 1977.

Los yacimientos son diferenciados por tipos. En China y Asia de manera general (con excepción de Japón y Asia del Sureste), la parte más grande de las reservas corresponden a yacimientos filonianos y asimilados con cuarzo-wolframita. Estos yacimientos y eventualmente los yacimientos filonianos y asimilados con cuarzo-scheelita, representan del 70 al 75 % del tungsteno mundial.

En el mundo occidental, en América del Norte y Central, particularmente, las reservas corresponden a yacimientos de contacto con scheelita. Estos yacimientos (yacimientos pirometasomáticos), skarns o tactitas con scheelita, tienen más o menos el 25 % de las reservas mundiales.

Se ha podido reconocer una guía estructural en la distribución de los yacimientos de tungsteno-estaño en Europa en función de las cadenas orogénicas (fig. 26) y la distribución de los skarns en la zona peripacífica (Einaudi, Burt, 1982) (Fig. 25).

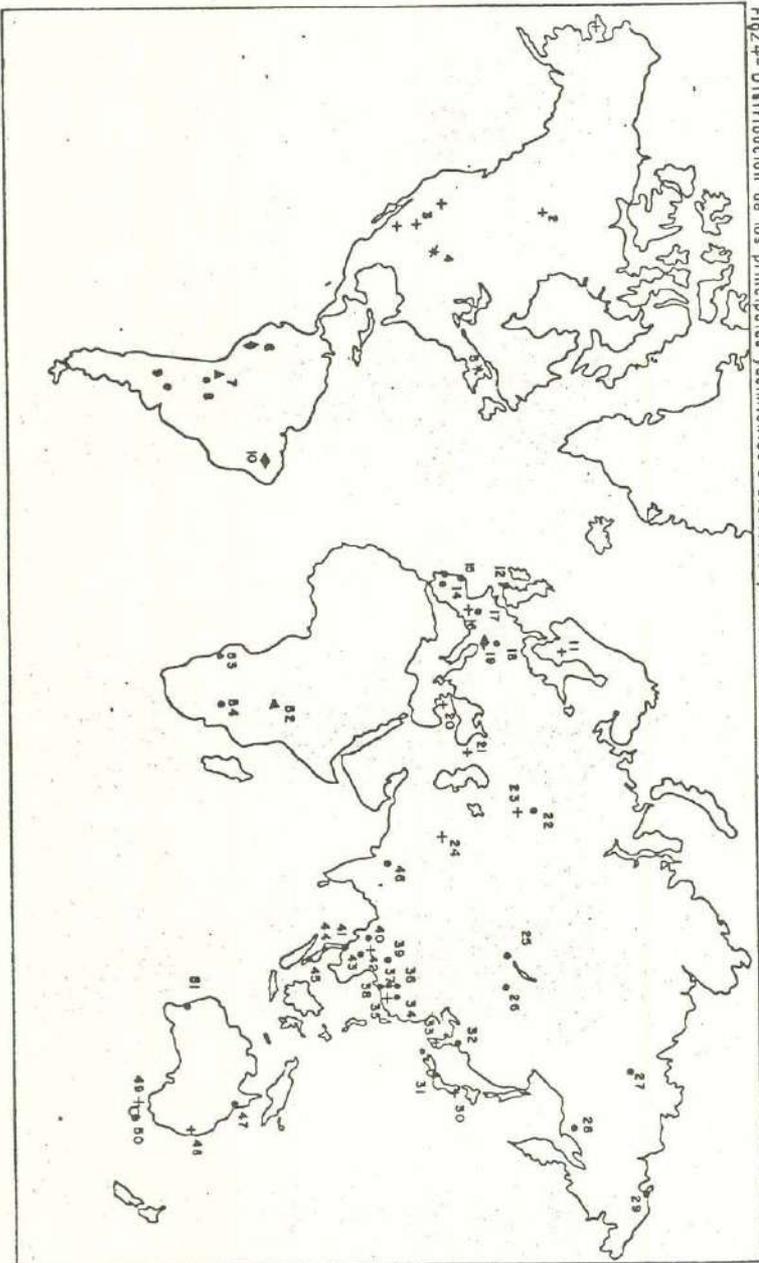
#### Producción Mundial.

La producción mundial de tungsteno tiene importante variación, fué de:

38 885 ton.	en 1973
37 500 ton.	en 1974
38 000 ton.	en 1975
21 785 ton.	en 1977
26 750 ton.	en 1978
28 350 ton.	en 1979
51 030 ton.	en 1980
48 760 ton.	en 1981

La producción mundial de tungsteno aumenta entonces del 5 % en 1979 hasta 1980 y baja 4 % de 1980 hasta 1981. Los países de economía central, principal

Fig. 2.- Distribución de los principales yacimientos o distritos productores de Tungsteno en 1977



**YACIMIENTOS DEL GRUPO PLUTÓNICO**  
 + Yacimientos pirometasomáticos  
 \* Yacimientos diseminados intrabotolíticos  
 ● Diques, diques conjuntos, Stockworks

**YACIMIENTOS DEL GRUPO VULCANOPLUTÓNICO**  
 ◆ Yacimientos de diques con cuarzo-hubnerita, sulfuros - sulfosol  
 ▲ Yacimientos de diques con Cuarzo - Ferberita  
 estibina

**YACIMIENTOS DEL GRUPO SEDIMENTARIO - METAMÓRFICO**  
 ◆ Yacimientos estratiformes  
 ▲ Yacimientos dentro los esquistos negros

**Lista de yacimientos I**  
**Grupo Plutónico.**

Yacimientos pirometasomáticos  
 2. Flat River (Canadá) 3. Ya  
 Creek, California y Nevada  
 11. Yxsjberg (Suecia)  
 (Turquía) 21. Tyrny Auz (U  
 ingitschke, Oubekistan y V  
 Iwate (Japón) 33. Sang Dor  
 cia de Hunan (China) 42. D  
 dia) 48. Torrington y Attur  
 (Tasmania-Australia).

Yacimientos diseminados in  
 (EUA) 5. Mount Pleasant (C  
 Filones, conjuntos filonía  
 Chicote, Kami, etc. (Boli  
 gentina) 12. Cornwall (Gra  
 rralha (Portugal) 14. Barr  
 ruña (España) 17. Echassie  
 (Checoslovaquia) 22. Swede  
 SS) 26. Koliwan, Nertschir  
 katie, URSS) 27. Merkolansf  
 SS) 29. Tschuktschen (URSS  
 te) 34. Provincia del Kiar  
 Hunan (China) 39. Provinci  
 (Birmania) 41. Herryingyi  
 landia) 44. Khav Soon (Tai  
 sia) 46. Rajasthan (India)  
 51. Mount Mulgine (Austra  
 del SurOeste) 54. Distrito  
 (Rodesia).

**Grupo Vulcano-Plutónico.**  
 Yacimientos filonianos con  
 sulfosales: 6. Distrito d  
 Yacimientos filonianos con  
 estibina): 7. Yacimientos  
 (Bolivia) 31. Akenobe (Jai  
**Yacimientos Sedimento-Met-**  
**Yacimientos Estratiformes**  
 del Norte (Brasil) 19. Fe  
 52. Yacimientos de Ruanda.

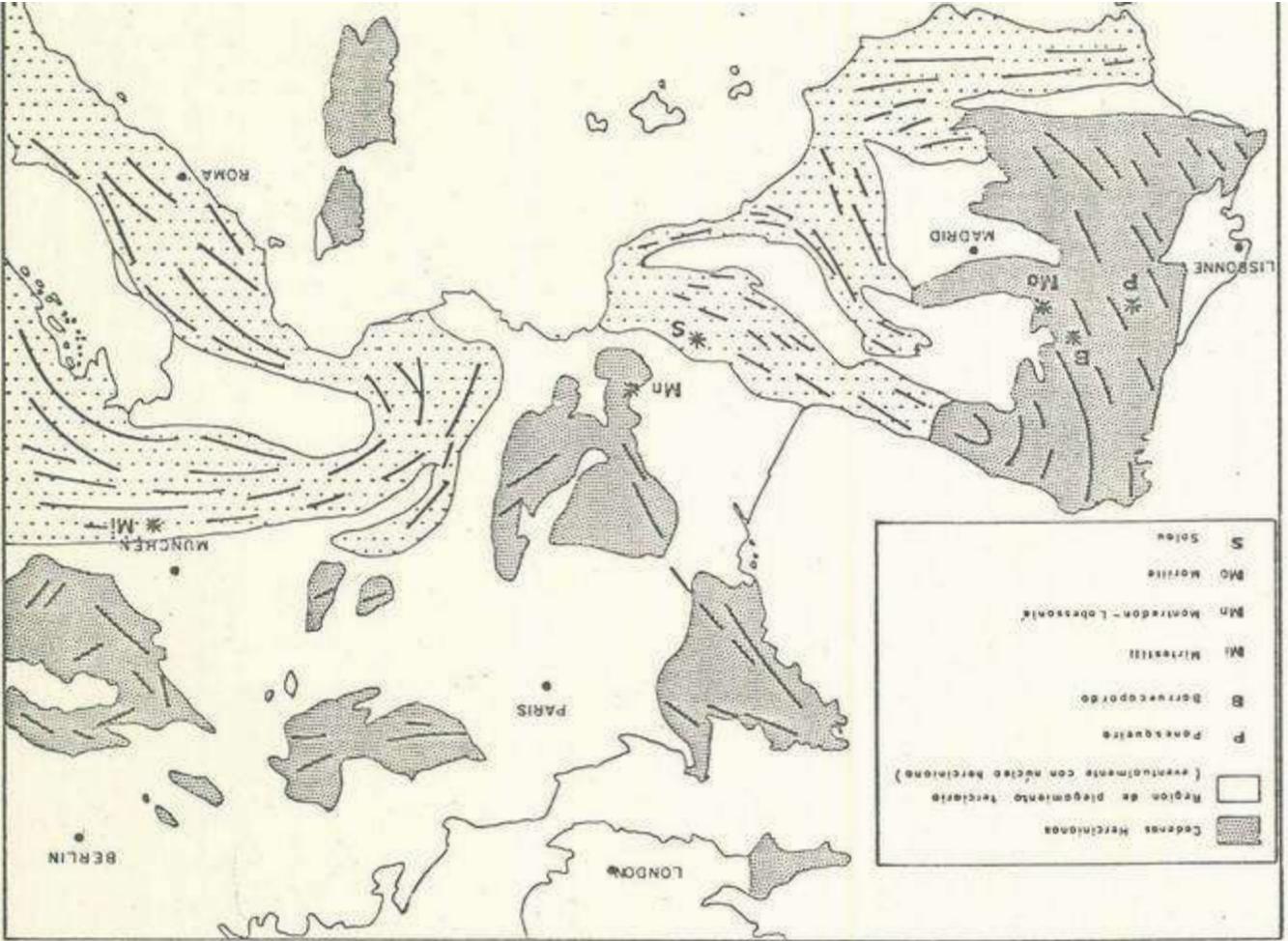


fig. 26 Situación de yacimientos de Tungsteno en Europa con los Cedenas

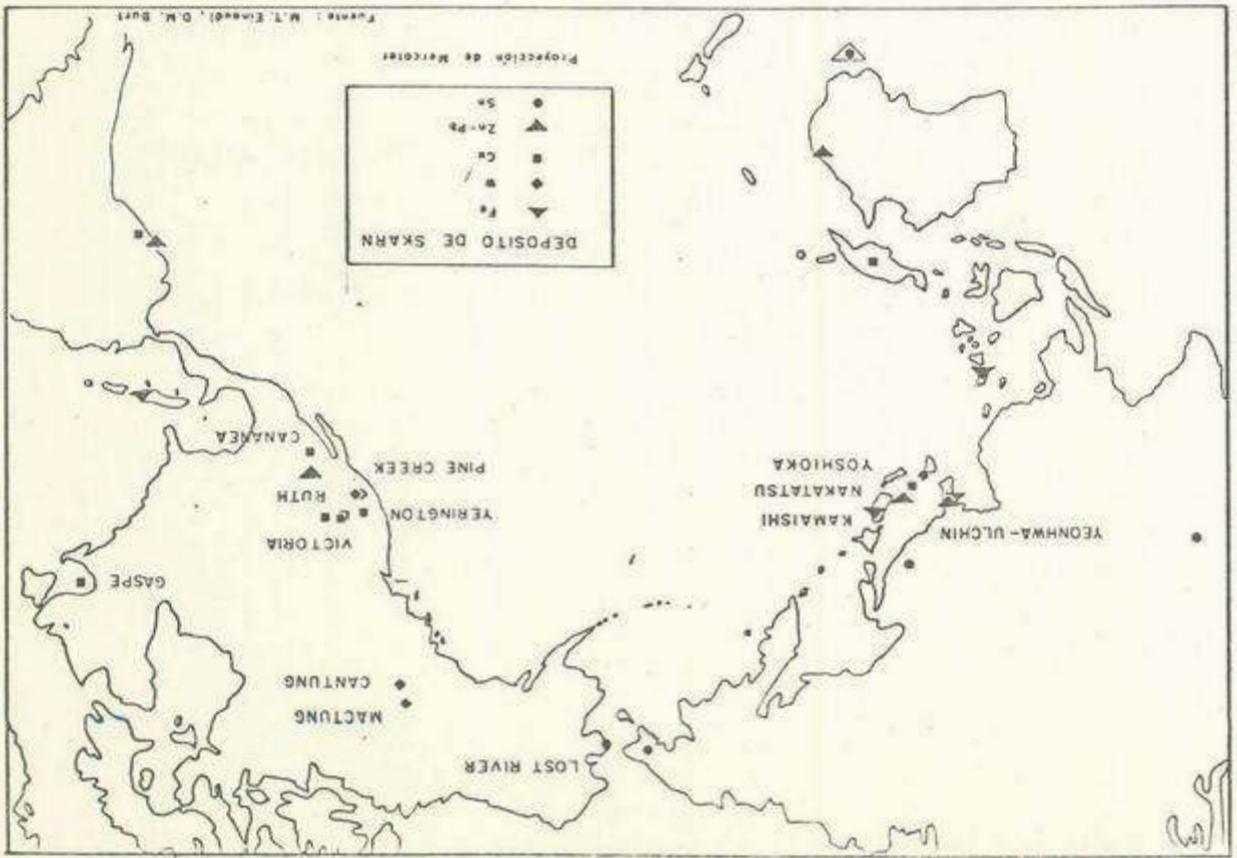


fig. 25 Localización de algunos tipos de Skarn

mente China, URSS y Corea producen 51 % de tungsteno, otros países el 49 % (Tabla 11).

#### Producción Mexicana.

La producción mexicana de concentrado de tungsteno se ha destinado tradicionalmente al abastecimiento de la demanda externa, puesto que el consumo nacional ha sido de pequeña significancia.

Las cifras disponibles para la producción mexicana parten desde 1933, se trata de concentrados de  $WO_3$  (Tabla 12). La producción mexicana de tungsteno se localiza principalmente en el Estado de Sonora. Durante el periodo de 1969 a 1975, contribuyó con cuatro quintas partes del total. Los estados de Chihuahua y Baja California Norte participan con el 13 y 14 %, respectivamente. En 1975 se inició en el estado de Michoacán, la producción de concentrado. En Sinaloa y Coahuila la producción es marginal (Tabla 13).

#### Reservas.

Las nuevas exploraciones y desarrollo durante los años de 1979 a 1981 han incrementado las reservas probables de tungsteno del mundo en un 45 % de 1'997 600 ton. de contenido en tungsteno a principios de 1979 hasta 2'905 600 ton. a finales de 1981 (Tabla 14).

Las diferentes cifras obtenidas sobre las reservas mundiales de tungsteno obedecen a variaciones en los siguientes factores: a) precios del metal, b) ley del mineral o contenido metálico del mismo; c) los adelantos tecnológicos con relación a la recuperación o beneficio de los minerales.

La rentabilidad de la explotación del mineral está determinada por la conjugación de los factores mencionados. China es el país que posee los depósitos más ricos y extensos, localizados en las provincias de Shensi, Hushi, Human y Kwantung que representan aproximadamente la mitad de las reservas mundiales. Las reservas de Canadá constituyen de 12 a 13 % del total mundial y se localizan principalmente en la región noroeste del país. En tercer lugar con 11 % del total aparece la Unión Soviética, sigue en importancia las reservas de Estados Unidos en un total de 6%.

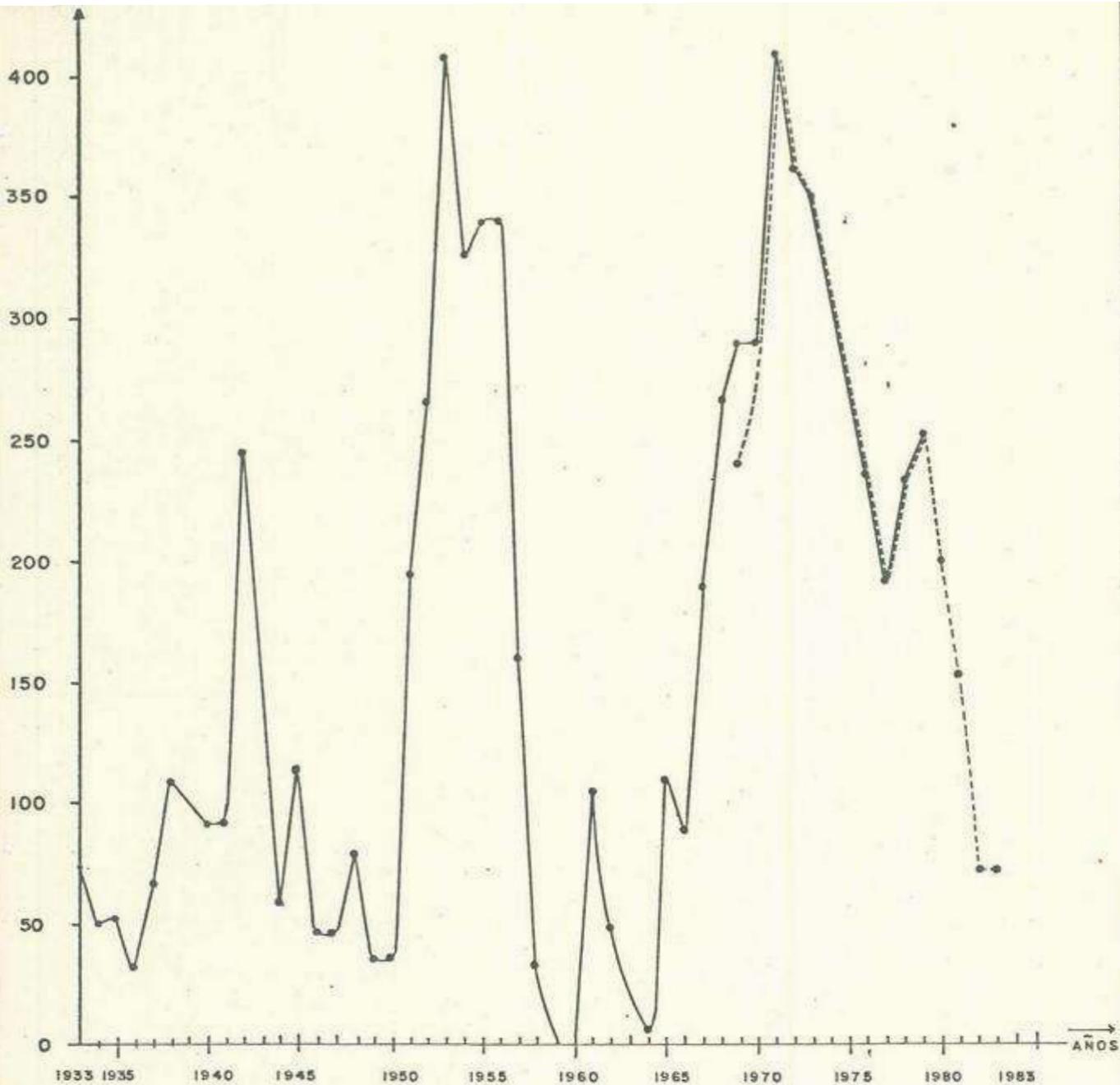
#### d) Leyes de Explotación y Métodos de Concentración.

El contenido necesario para la explotación de tungsteno, depende de los mismos factores que afectan a todos los metales, como son: país, facilidad de explotación, precio, etc., aunque particularmente para este metal la fluctuación del mercado es el factor principal.

TABLA 11  
PRODUCCION MUNDIAL DE TUNGSTENO (W)

Ton. de W Contenido

PAISES	1975	1979	1980	1981
CHINA	8 000	13 166	14 982	13 620
URSS	7 400	8 717	8 717	8 853
U S A	3 436	3 015	2 756	3 585
TAILANDIA	2 602	1 827	1 657	1 277
COREA DEL SUR	2 252	2 619	2 609	2 814
BOLIVIA	2 183	2 472	2 666	2 678
COREA DEL NORTE	2 150	2 152	2 201	2 179
CANADA	2 089	2 599	3 182	1 194
PORTUGAL	1 547	1 371	1 558	1 362
AUSTRALIA	1 201	3 170	3 306	3 489
BRASIL	951	1 178	1 393	1 362
JAPON	940	751	668	672
PERU	822	564	549	590
FRANCIA	695	500	577	544
BIRMANIA	500	413	476	454
MEXICO	348	252	266	150
ESPAÑA	304			
RUANDA	258			
SUECIA	235			
ZAIRE	232			
MALASIA	191			
GUATEMALA	158			
RODESIA	154			
ARGENTINA	79			
UGANDA	77			
NAMIDIA	67			
INDIA	11			
OTROS PAISES	8			
<b>TOTAL</b>	<b>38 885</b>	<b>48 357</b>	<b>51 030</b>	<b>48 750</b>



LA PRODUCCION EN TONELADAS METRICAS

— PRODUCCION EN MEXICO  
 - - - PRODUCCION EN SONORA

AÑOS	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948
PRODUCCION DE MEXICO	74	50	52	31	70	109	103	91	92	245	158	64	115	46	46	80
AÑOS	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
PRODUCCION DE MEXICO	39	41	195	267	409	327	341	342	160	32	—	—	105	48	20	5
AÑOS	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
PRODUCCION DE MEXICO	110	86	188	266	889	288	408	362	348	309	277	235	191	234	252	266
PRODUCCION DE SONORA					240	288	408	362	348	309	277	235	191	234	252	199
AÑOS	1981	1982	1983													
PRODUCCION DE SONORA	150	70	70													

CONCEPTO	Promedio Anual	
	(1969	- 1975)
TOTAL		325
SONORA		261
-Tungsteno de Baviacora, S.A.		125
-Sr. Oscar Galaz		35
-Cía. Minera Metalúrgica Nacori Grande, S.A. (1)		28
-Sr. Santos Martinez		13
-Sr. Alberto Loustaunau (2)		4
-Cía. Minera Cíbola, S.A. (3)		3
-Otros		53
CHIHUAHUA		62
-Cía, Minera La Perla, S.A.		42
BAJA CALIFORNIA NORTE		13
MICHOACAN		4
-Industrial Minera México, S.A. (4)		4
COAHUILA		3
SINALOA		2

TABLA 13

(1) Inició sus trabajos en Abril de 1970.

(2) No operó en los años de 1971 a 1973

(3) Funcionó de 1969 a 1971.

(4) Empezo a producir tungsteno en agosto de 1975.

Fuente: Sobretiro de Comercio exterior, Vol 27 No.6  
Departamento de estudios económicos.

En la tabla 3 se indica la producción mundial para los años 76-80 y 81.

RESERVAS MUNDIALES DE TUNGSTENO 1981 (MILLONES DE TONS.)

P A I S E S	RESERVAS	OTROS RECURSOS	TOTAL
China	1 3 6 2	2 2 7 0	3 6 3 2
Canada	4 3 1	3 1 8	7 4 9
Estados Unidos	2 5 0	2 9 5	5 4 5
Rusia	2 1 3	3 1 8	5 3 1
Australia	1 0 9	2 5 9	3 6 8
Corea del Norte	1 0 9	1 3 6	2 4 5
Corea del Sur	8 2	7 7	1 5 9
Turquía	7 7	1 4	9 1
Reino Unido	5 9	4 . 5	6 3 . 5
Bolivia	3 9	8 6	1 2 5
Birmania	3 2	7 3	1 0 5
Portugal	2 5	2 7	5 2
México	2 0	4 . 5	2 4 . 5
Austria	1 8	5 4	7 2
Brasil	1 8	4 1	5 9
Tailandia	1 8	1 8	3 6
Otros	4 3	9 1	1 3 4
TOTAL	2, 9 0 5	4, 0 8 6	6, 9 9 1

Los contenidos se expresan en porcentajes de  $WO_3$  y para obtener la cantidad de W es necesario multiplicar este porcentaje por 0.792 . En los países de occidente, el contenido de mineral en bruto debe ser al menos 0.5 % de  $WO_3$ . En México y Sonora estos contenidos varían de 0.1 hasta 3 % de  $WO_3$  pero sólo en raras ocasiones es mayor del 1 %.

En el pasado la concentración del tungsteno se efectuaba por medio manual, principalmente a partir de placeres. Posteriormente con la aparición de la lámpara de rayos ultravioleta y el avance de la mecanización fueron explotados los yacimientos primarios, más comunes y de mayor importancia.

Los métodos actuales de concentración se resumen a continuación:

Gravimetría.- Utiliza la gravedad como fuerza para vencer la capacidad de penetración de un fluido. El mineral se tritura, las partículas más gruesas son concentradas directamente mientras que las partículas más finas van a mesas de concentración.

Flotación.- Consiste en reacciones químicas de acuerdo a la composición, los elementos menos densos flotan al ser afectados por reactivos adecuados, determinados por un metalurgista. La molienda del mineral tiene una influencia -

muy grande en el proceso.

Separación magnética.- Consiste en el tratamiento de los minerales concentrados por una máquina magnética de alta intensidad, para separar el fierro, granates y epidotas del resto de los componentes.

Separación electroestática.- Se utiliza la prioridad de conductividad eléctrica diferente en cada mineral. Una intensidad de 20 000 voltios permite separar las partículas según su carga eléctrica.

Calcinación.- Se utiliza para separar el azufre y arsénico de los compostos ferríferos en un horno de hasta 1000 °C.

Lixiviación.- Se descomponen los concentrados de tungsteno con reactivos hasta obtener el  $WO_3$  en solución el cual posteriormente es precipitado con un ácido.

#### e) Precio y Concentrados.

A diferencia de otros metales, las operaciones en el comercio internacional, los minerales de tungsteno no se cotizan en una Bolsa, donde el establecimiento de los precios de los minerales está por lo general supeditado a los precios de un sistema libre de oferta y demanda. Para el tungsteno, los precios son determinados por mercados de valores, tales como el de Nueva York y el de Londres, debido a esto existe una actividad especulativa que acentúa las fluctuaciones de los precios.

Dentro de las características del mercado mundial de los concentrados de tungsteno, que explican su inestabilidad en los precios, conviene mencionar:

- La demanda es muy variable, está muy relacionada con el nivel de actividades de los países industrializados.
- La variación en la demanda hace que los precios se afecten sensiblemente con cualquier modificación de la oferta.
- La producción responde lentamente a los estímulos de los precios.
- Existe incertidumbre con respecto a las fuentes no comerciales como son las reservas estratégicas de los Estados Unidos.
- También inseguridad de abastecimiento procedente de las fuentes tradicionales, particularmente la conducta de las vetas de China.
- Las manipulaciones especulativas de los comerciantes.

Los minerales de tungsteno se aceptan en el mercado mundial con una ley mínima de 60 % de  $WO_3$ . Las transacciones se efectúan en base a las medidas de unidad corta en los Estados Unidos y unidad larga en Europa.

La unidad corta (Short Ton Unit- STU) equivale a 20 libras de contenido de

WO<sub>3</sub>. Las impurezas tienen especificaciones diferentes que cambian de un lugar a otro .

#### f) Historia.

El inicio de la explotación masiva del tungsteno se llevó a cabo antes de 1914, cuando los alemanes lo utilizaron para la manufactura de armamento, aumentando así el poder del mismo. El cambio se debió al uso del tungsteno en los aceros de alta velocidad y en las herramientas de corté. En esta época el precio era de solamente 8 a 10 chelines por unidad larga.

Al observar los aliados, el aumento del poder en el armamento alemán, debido al uso del tungsteno, se produjo una reacción en el precio llegando a cotizarse hasta 10 dólares por unidad en los Estados Unidos.

Este aumento desencadenó un auge en la exploración y explotación, iniciándose ésta en China en la región de Ta-ling, donde se dá un caso excepcional de concentración de 78.8 % de pureza. Desde entonces China es el mayor productor de este mineral.

Contemporáneo a este auge, se inicia en Sonora la explotación del tungsteno, en la mina La Cruz, región de San Nicolás, Mpio. de Yécora; produciendo 30 ton. de concentrados al mes y un total de 910 ton. de concentrados durante los años de 1917 a 1919. Constituyéndose así, en el más importante productor de México durante esta época.

También en Sonora se inicia la explotación en el área granítica de la cuenca del Río Yaqui, lo que produjo el descubrimiento de pequeñas concentraciones tanto in-situ como de placer.

Otras minas importantes que se trabajaron son: la mina San Juan en Santa Ana y El Trueno en Cajeme, en 1917 se suspendieron los trabajos debido a problemas con los indios yaquis en esta última mina.

Después del armisticio, el interés del tungsteno decayó hasta 1929, cuando el Sr. Frank Fast, abrió nuevamente la mina La Cruz, comprando además concentrados en la región de San Nicolás. Se produjo entonces un resurgimiento en la exploración del tungsteno, descubriéndose nuevos yacimientos. Se instaló una planta en la ciudad de Nogales, donde se maquilaban minerales de las regiones de El Claro, Mpio. de Santa Ana; de Cocóspera, Mpio. de Imuris; un poco de Villa de Seris, Mpio. de Hermosillo; pero el largo transporte del mineral fué un impedimento importante, por lo que tuvo que ser clausurada. También se obtuvieron 90 ton de concentrados procedentes de yacimientos de placer en la región del río Yaqui, entre ellos El Nacimiento, Mpio. de Cajeme.

Fu  hasta el año de 1943 cuando se localizaron los primeros yacimientos de contacto, ya que hasta entonces sólo se conocían los yacimientos de pegmatita y de placer que limitaban las exploraciones a los afloramientos de granito.

De 1936 a 1940 la industria alemana acaparó la producción de China y otros países. De 1936 a 1939 lo compraba a China y el año siguiente al declararse la Segunda Guerra Mundial, Alemania compr  tungsteno de Bolivia, Argentina, Perú, México y de Estados Unidos, a través de su aliado Japón, que aparecía como neutral. Después de Pearl Harbor, Alemania lo compr  en Portugal y España al alto precio de 50 dólares por tonelada.

Al interrumpirse los embarques de China a Estados Unidos por la guerra en el Pacífico, en agosto de 1940, el gobierno americano se vi  urgido a comprar toda la producción de Sudamérica, adquiriendo el mineral sin importar el grado de pureza y por medio de contratos de grandes cantidades de mineral con garantía de precio. Esto motivó el establecimiento de centros mineros en Bolivia, Perú, Argentina y Brasil, financiados por el gobierno estadounidense.

Se estableció en México una empresa en Nogales, bajo el nombre de Tungsteno Mexicano, S.A. para estimular la producción en el país, debido a que era muy escasa.

En 1945 el Sr. Francisco Barrera descubrió el placer El Hu rigo en el Mpio. de Hu sabas y la mina El Puerto del Encino, que fueron explotados hasta 1946, produciéndose hasta 500 ton de concentrados de alta ley.

En 1950 se descubrió la mina El Burro, cerca de Tecoripa, explotada por la Compa a Minera Moctezuma, S.A. hasta 1956 calculándose una producción de 3 000 ton.

En 1952 se inicia en Estados Unidos el "stockpile" (medida tomada por el gobierno para asegurarse el suministro de materiales estratégicos en el caso de crisis mundial) que promovió la compra de minerales para crear una reserva para las necesidades futuras de dicho país.

El tungsteno fué uno de los principales minerales involucrados en esta medida, aumentando de un precio normal de 8 dólares hasta 64 dólares la unidad corta. Simultáneamente a esta promoción se descubrieron importantes yacimientos, entre los principales se encuentra el de la mina San Antonio, descubierta por el Sr. Ignacio Rábago, con ayuda de lámpara fluorescente. La concentración de mineral era muy grande y más del 80 % de la producción total del país durante los años de 1952 a 1953 provino de esta mina; en la cual se instaló un molino con capacidad de 80 ton. diarias, que operó hasta 1957.

Entre la mina San Antonio y la mina Dos Hermanos en la misma zona, produ-

jeron 1 200 ton de concentrados de tungsteno durante ese tiempo.

En el mismo lugar se explotó la mina El Jaralito del Sr. Pedro Tréllez y Arturo Fernández, quienes tenían una planta concentradora de la misma capacidad, se descubrió también un yacimiento importante en Mexiquillo, Mpio. de Alamos, el cual fué explorado de nuevo en el año de 1957. Se trabajó asimismo El Placer, Mpio. de San Miguel de Horcasitas, única mina que se explotó por wolframita.

Se trabajaron directamente por gambusinos ciertos yacimientos, ya que la concentración natural del wolframio era muy abundante en casi todas las minas; en esa forma se encontraron las minas de El Claro y Las Pedradas, Mpio. de Santa Ana; La Ciénega, Mpio. de Pitiquito, las minas de San Juan, Mpio. de Oquitoa y de Santa Rosa en el Mpio. de Yécora.

Posteriormente un descubrimiento muy importante, la mina La Gloria (1956) y la mina San Marcos, Mpio. de Sahuaripa; el mineral de Santo Domingo - Mpio. de Nacozari, donde la wolframita se trabajó como subproducto de mineral de cobre. También se conoce la existencia de mineral de wolframio en la mina Washington en Huépac y la mina Padrecitos en el mismo municipio.

Todas estas minas se explotaron activamente de los años 1952 hasta principios de 1957, año en que se suspenden totalmente las operaciones, debido a que los Estados Unidos dejaron de comprar estos minerales por haber cumplido con exceso, la meta que se habían fijado.

De 1957 a 1960 no hubo ninguna actividad, pero en los años de 1960 a 1962 las minas de Baviácora fueron las únicas que trabajaron aprovechando una pequeña alza de mercado de 9 dólares por unidad corta. En 1961 se habilitó la mina llamada El Cochi, Mpio. de la Colorada, que operó hasta 1963.

A partir de 1965 empezó un aumento del precio debido a la demanda de la industria siderúrgica, iniciándose en Baviácora la principal producción de 14 a 18 mil unidades cortas por año, también se explotaron en este tiempo las minas 21 de marzo, Mpio. de La Colorada; San Alberto, Mpio. de Alamos y la mina la Venada (descubierta desde 1956) y el Satélite en el Mpio. de Villa Pesqueira.